



ESCOLA DE DOUTORAMENTO
INTERNACIONAL (EDIUS)

José Daniel
Barreiro Vázquez

Tese de doutoramento
Avances na ecografía
transabdominal en vacas
de producción láctea

Lugo, 2021



TESE DE DOUTORAMENTO

AVANCES NA ECOGRAFÍA TRANSABDOMINAL EN VACAS DE PRODUCCIÓN LÁCTEA

José Daniel Barreiro Vázquez

ESCOLA DE DOUTORAMENTO INTERNACIONAL DA UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

PROGRAMA DE DOUTORAMENTO EN INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA EN CIENCIAS
VETERINARIAS

LUGO

2021



DECLARACIÓN DO AUTOR/A DA TESE

Avances na ecografía transabdominal en vacas de produción láctea

D./Dna. José Daniel Barreiro Vázquez

Presento a miña tese, seguindo o procedemento axeitado ao Regulamento, e declaro que:

- 1) A tese abarca os resultados da elaboración do meu traballo.
- 2) De selo caso, na tese faise referencia ás colaboracións que tivo este traballo.
- 3) A tese é a versión definitiva presentada para a súa defensa e coincide coa versión enviada en formato electrónico.
- 4) Confirmo que a tese non incorre en ningún tipo de plaxio doutros autores nin de traballos presentados por min para a obtención doutros títulos.
- 5) Declara non ter ningún conflito de interese en relación coa tese de doutoramento.

En Lugo, 8 de abril de 2021

Asdo José Daniel Barreiro Vázquez

AUTORIZACIÓN DO DIRECTOR / TITOR DA TESE

Avances na ecografía transabdominal en vacas de produción láctea

D. Andrés Barreiro Lois, Profesor Titular do Departamento de Anatomía, Producción Animal e Ciencias Clínicas Veterinarias da Universidade de Santiago de Compostela.

Dña. Marta I. Miranda Castañón, Profesora Titular do Departamento de Anatomía, Producción Animal e Ciencias Clínicas Veterinarias da Universidade de Santiago de Compostela.

INFORMAN:

Que a presente tese, correspóndese co traballo realizado por D. **José Daniel Barreiro Vázquez**, baixo a miña dirección, e autorizo a súa presentación, considerando que reúne os requisitos esixidos no Regulamento de Estudos de Doutoramento da USC, e que como director desta non incorre nas causas de abstención establecidas na Lei 40/2015.

De acordo co indicado no Regulamento de Estudos de Doutoramento, declara tamén que a presente tese de doutoramento é idónea para ser defendida en base á modalidade de COMPENDIO DE PUBLICACIÓNS, nos que a participación do doutorando foi decisiva para a súa elaboración e as publicacións se axustan ao Plan de Investigación.

En Lugo, 8 de abril de 2021

Andrés Barreiro Lois

Marta I. Miranda Castañón



O doutorando declara que, como primeiro autor dos artigos publicados en extenso na revista *Animals* e incluídos no presente traballo de tese, posúe os dereitos de *copyright* como se expón no seguinte texto enviado dende a editorial da mesma revista:

“For all articles published in MDPI journals, copyright is retained by the authors. Articles are licensed under an open access Creative Commons CC BY 4.0 license, meaning that anyone may download and read the paper for free. In addition, the article may be reused and quoted provided that the original published version is cited. These conditions allow for maximum use and exposure of the work, while ensuring that the authors receive proper credit.” More details, please read by the following link: <https://www.mdpi.com/authors/rights>

AGRADECEMENTOS

Nun proceso tan longo coma o desenvolvemento dun traballo de tese temos que agradecer a multitude de persoas a súa participación, tanto directa coma indirectamente. No meu caso, tendo en conta o percorrido dilatado nos anos, nos que sempre foi paseniño medrando o traballo, asemade ós proxectos persoais coma profesionais, foi sen dúbida un camiño cheo de atrancos. Por iso, é sinxelo comprender o sentimento de plenitude acadado nestes momentos nos que chegamos á meta.

Son parte fundamental deste traballo e por iso merecen especial gratitude Andrés Barreiro e Marta Miranda coma directores e promotores desta tese, así coma os compañeiros do Hospital Veterinario Universitario Rof Codina, en especial os que forman comigo o equipo do Servizo de Diagnóstico por Imaxe, Mónica Vila e Alicia Seoane; aqueles compañeiros doutros Servizos hospitalarios e da Facultade de Veterinaria que axudaron en maior ou menor medida á realización dun proceso experimental a un custe irrisoriamente reducido, en especial a Lucas Rigueira, F. Javier Diéguez e Isabel Barreiro. Sen esquecer á familia de veterinarios adicados ó diagnóstico por imaxe no noso país e alén das nosas fronteiras polas súas constantes achegas para a mellora da nosa especialidade e da profesión veterinaria en xeral.

E finalmente, unha especial gratitude para quen conforma este longo camiño da vida comigo, dende a familia da que vimos (pai, nai, irmá, avós, tíos, primos, etc.) alicerce e cerna vital; á política que me acolleu con agarimo; e á que facemos en cada chanzo da escada (a miña dona Anabel e os nosos pícaros, Óscar e Sara), bágoas e sorrisos que enchen a *ialma*.

Grazas a todos, porque formades parte deste traballo e de mín mesmo.

ÍNDICE DE CONTIDOS

	Pág.
RESUMO/RESUMEN/SUMMARY	1
INTRODUCCIÓN	7
1. IMPORTANCIA DO GANDO VACÚN LEITEIRO E DO USO DA ECOGRAFÍA NA CLÍNICA DE VACÚN	9
2. ECOGRAFÍA NA VACA LEITEIRA	12
2.1 EXPLORACIÓN ECOGRÁFICA	12
2.1.1. Selección do transdutor e modo de imaxe	12
2.1.2. Preparación do animal en estudo	13
2.1.3. Abordaxe ecográfica	15
2.2 ANATOMÍA TOPOGRÁFICA E ECOGRÁFICA ABDOMINAL NA VACA	15
2.2.1. Cavidade abdominal	15
2.2.2. Fígado e sistemas venosos hepático e portal	18
2.2.3. Glándulas adrenais	20
2.2.4. Riles	21
3. ECOGRAFÍA DOPPLER	23
3.1. FUNDAMENTOS DA ECOGRAFÍA DOPPLER	23
3.1.1. O efecto Doppler	23
3.1.2. Representación do cambio Doppler	24
3.2. TIPOS DE FLUXO SANGUÍNEO	26
3.2.1. Fluxo laminar	26
3.2.2. Fluxo turbulento	28
3.3. PECULIARIDADES TÉCNICAS DA ECOGRAFÍA DOPPLER	29
3.4. CÁLCULOS/PARÁMETROS OBTIDOS NA ECOGRAFÍA DOPPLER	30
3.4.1. Métodos cuantitativos	30
3.4.2. Métodos semicuantitativos. Índices arteriais	32
4. XUSTIFICACIÓN E PERFIL DA TESE	33

	Páx.
OBXECTIVOS	35
CAPÍTULOS/TRABALLOS PUBLICADOS	39
CAPÍTULO I- traballo publicado 1	41
Artigo 1. Characterization of the Normal Portal and Hepatic Blood Flow of Adult Holstein-Friesian Cows. <i>Animals</i> 2019, 9, 386; doi:10.3390/ani9060386	
CAPÍTULO II- traballo publicado 2	55
Artigo 2. Transabdominal Renal Doppler Ultrasound in Healthy Adult Holstein-Friesian Cows: A Pilot Study. <i>Animals</i> 2021, 11, 63. doi:10.3390/ani11010063	
CAPÍTULO III- traballo publicado 3	69
Artigo 3. Ultrasonography of Normal Adrenal Glands in Adult Holstein–Friesian Cows: A Pilot Study. . <i>Animals</i> 2020, 10, 1171; doi:10.3390/ani10071171	
DISCUSIÓN XERAL	81
1. ECOGRAFÍA EN MODO B	83
1.1. FÍGADO	84
1.2. RILES	85
1.3. GLÁNDULAS ADRENAIS	86
2. ECOGRAFÍA DOPPLER	88
2.1. FÍGADO	91
2.2. RILES	94
CONCLUSIÓN	97
BIBLIOGRAFÍA	101



RESUMO/RESUMEN/SUMMARY

RESUMO

A ecografía abdominal é unha das técnicas de diagnóstico por imaxe máis potentes e útiles tanto na medicina humana coma veterinaria. Aínda que a ecografía bovina ten mellorado grandemente nos últimos 30 anos, é necesario un maior coñecemento tanto da ecografía en modo B como Doppler dos órganos abdominais. Os obxectivos deste traballo foron (i) determinar as características normais do fluxo sanguíneo portal e hepático; (ii) establecer un protocolo para a ecografía Doppler renal, e (iii) fornecer un protocolo de referencia para unha exploración ecográfica estándar das glándulas adrenais en vacas leiteiras. Foron utilizadas para este propósito un total de 25 vacas adultas sans, non lactantes nin preñadas de raza Frisoa. O fluxo hepático pode ser facilmente avaliado ca ecografía Doppler transcutánea dende unha abordaxe abdominal dereita entre o flanco e o 9º espazo intercostal (EIC), onde non só puideron ser observados os vasos intrahepáticos, senón tamén os vasos aferentes da vea porta e da vea cava caudal. O flanco e os derradeiros EIC son os mellores puntos de abordaxe para avaliar os grandes vasos. O fluxo da vea porta está caracterizado por un fluxo turbulento de alta velocidade, debido ó fluxo contraposto entre as veas mesentérica cranial e esplénica, mentres que a vea cava caudal e as veas hepáticas presentan un fluxo laminar cunhas oscilacións asociadas á actividade respiratoria e non cardíaca. Describimos o rango normal no tocante á velocidade media, máxima e inversa, así coma o volume de fluxo sanguíneo do espectro Doppler en tódolos vasos e en relación ó punto de exploración. En relación ó ril bovino, non existen valores de referencia previos para os índices de resistencia IR (índice de resistencia) e IP (índice de pulsatilidade). A avaliación destes índices é unha ferramenta poderosa e non invasiva para a valoración, monitorización e o diagnóstico de enfermidades renais tanto en humanos coma outros animais (p.ex. pequenos animais e cabalos). Co protocolo que establecemos para a ecografía Doppler renal nas vacas adultas sans de raza Frisoa, onde o ril dereito sempre é visible a través dunha xanela abdominal dereita, mentres que o ril esquerdo é raramente accesible a través do flanco. A avaliación Doppler só puido ser aplicada nos vasos de maior tamaño do hilo renal (arteria renal e segmentarias primarias). Os valores normais para IR e IP foron respectivamente 0.49 ± 0.07 e 0.70 ± 0.15 para o ril dereito, e 0.53 ± 0.05 e 0.79 ± 0.11 para o ril esquerdo, con un valor de corte proposto de 0.63 para o IR, e 1.00 para o IP. Estes valores de corte poden ser útiles en futuros estudos para caracterizar diferentes patoloxías bovinas que afecten ó parénquima renal. Os nosos resultados indican que a glándula adrenal dereita (lonxitude media 3.86 ± 1.39 cm; grosor medio 1.39 ± 0.26 cm) pode ser facilmente visualizada dende o 12º EIC, mentres que a glándula esquerda (lonxitude media 3.72 ± 0.95 cm; grosor medio 1.36 ± 0.33 cm) foi máis difícil de localizar debido á súa posición máis medial e caudal, oculta polo gas do tracto gastrointestinal. Esta tese de doutoramento permite establecer os valores de referencia para o fluxo portal e hepático, os valores de referencia para os índices de resistencia renal, e establecer o aspecto ecográfico e o tamaño das glándulas adrenais en vacas adultas sans de raza Frisoa.

Palabras chave: Doppler, ecografía, vaca leiteira, bovino, fígado, ril, glándulas adrenais.

RESUMEN

La ecografía abdominal es una de las técnicas de diagnóstico por imagen más potentes y útiles tanto en medicina humana como veterinaria. Aunque la ecografía bovina ha mejorado notablemente en los últimos 30 años, es todavía necesario un mayor conocimiento tanto de la ecografía en modo B como Doppler de los órganos abdominales. Los objetivos de este trabajo consistieron en (i) determinar las características normales del flujo sanguíneo portal y hepático; (ii) establecer un protocolo para la ecografía Doppler renal, y (iii) proveer un protocolo de referencia para una exploración ecográfica estándar de las glándulas adrenales en vacas lecheras. Se utilizaron para este propósito un total de 25 vacas adultas sanas, no lactantes ni preñadas de raza Frisona. El flujo hepático puede ser fácilmente evaluado con la ecografía Doppler transcutánea desde un abordaje abdominal derecho entre el flanco y el 9º espacio intercostal (EIC), donde no sólo se pudieron observar los vasos intrahepáticos, sino también los vasos aferentes de la vena porta y de la vena cava caudal. El flanco y los últimos EIC son los mejores puntos de abordaje para evaluar los grandes vasos. El flujo de la vena porta está caracterizado por un flujo turbulento de alta velocidad, debido al flujo contrapuesto entre las venas mesentérica craneal y esplénica, mientras que el flujo de la vena cava caudal y las venas hepáticas presenta un flujo laminar con unas oscilaciones asociadas a la actividad respiratoria y no cardíaca. Describimos el rango normal relativo a la velocidad media, máxima e inversa, así como el volumen de flujo sanguíneo del espectro Doppler en todos los vasos y en base al punto de exploración. En relación al riñón bovino, no existen valores de referencia previos para los índices de resistencia IR (índice de resistencia) e IP (índice de pulsatilidad). La evaluación de estos índices es una herramienta poderosa y no invasiva para la valoración, monitorización y el diagnóstico de enfermedades renales tanto en humanos como en otros animales (p.e. pequeños animales y caballos). Con el protocolo que establecemos para la ecografía Doppler renal en las vacas adultas sanas de raza Frisona, donde el riñón derecho siempre es visible a través de una ventana abdominal derecha, mientras que el riñón izquierdo es raramente accesible a través del flanco. La evaluación Doppler sólo pudo ser aplicada en los vasos de mayor calibre del hilio renal (arteria renal y segmentarias primarias). Los valores normales para IR e IP fueron respectivamente 0.49 ± 0.07 y 0.70 ± 0.15 para el riñón derecho, y 0.53 ± 0.05 y 0.79 ± 0.11 para el riñón izquierdo, con un valor de corte propuesto de 0.63 para el IR, y 1.00 para el IP. Estos valores de corte pueden ser útiles en futuros estudios para caracterizar diferentes patologías bovinas que afecten al parénquima renal. Nuestros resultados indican que la glándula adrenal derecha (longitud media 3.86 ± 1.39 cm; grosor medio 1.39 ± 0.26 cm) puede ser fácilmente visualizada desde el 12º EIC, mientras que la glándula izquierda (longitud media 3.72 ± 0.95 cm; grosor medio 1.36 ± 0.33 cm) fue más difícil de localizar debido a su posición más medial y caudal, oculta por el gas del tracto gastrointestinal. Esta tesis doctoral permite establecer los valores de referencia para el flujo portal y hepático, los valores de referencia para los índices de resistencia renal, y establecer la apariencia ecográfica y el tamaño de las glándulas adrenales en vacas adultas sanas de raza Frisona.

Palabras clave: Doppler, ecografía, vaca leche, bovino, hígado, riñón, glándulas adrenales.

SUMMARY

Abdominal ultrasound is one of the most powerful and useful diagnostic imaging technique both in human and veterinary medicine. Although bovine ultrasound (US) has extensively improved through the past 30 years, either deeper B-mode or Doppler US knowledge of the abdominal organs have not been described in the literature. The aims of these study were (i) to determine the normal features of portal and hepatic blood flow; (ii) to establish a protocol for renal Doppler US, and (iii) to provide a reference protocol for standard US exploration of the adrenal glands in dairy cows. Twenty-five healthy, non-lactating, non-pregnant adult Holstein-Friesian cows, were used in the study. Hepatic blood flow can be easily evaluated with transabdominal Doppler US through a right abdominal approach between the right flank and 9th intercostal space (ICS), where not only the intrahepatic vessels can be observed, but also the afferent vessels of the vena porta and the caudal vena cava itself. The flank and the last ICS are the best options to correctly interrogate large vessels. The main portal vein was characterized by a turbulent, high-velocity flow due to the opposing confluence of the splenic and cranial mesenteric veins, while hepatic and caudal vena cava veins have laminar blood flow, in which the phasicity is considered mainly respiratory and not cardiac in origin. Normal range of mean, maximum and reverse velocity, as well as amount of blood flow of the Doppler spectrum in all vessels are given in relation to the anatomical point of observation. Regarding the bovine kidney, there is no previous reference values for the arterial renal resistive indices, RI (resistive index) and PI (pulsatility index). Evaluation of these renal indices is a powerful, non-invasive technique for assessing, monitoring and diagnosing renal diseases in humans and other animals (e.g. small animals and horses). We have established a protocol for renal Doppler US in adult healthy Holstein-Friesian cows where the right kidney is always visible through a right abdominal window, while the left kidney is rarely accessible by means of transabdominal ultrasound in the flank. Doppler evaluation could only be made in the larger vessels at the renal hilum (renal artery and primary segmental arteries). Normal RI and PI values were respectively 0.49 ± 0.07 and 0.70 ± 0.15 for the right kidney and 0.53 ± 0.05 and 0.79 ± 0.11 for the left kidney, with a suggested upper cut-off value of 0.63 for the RI, and 1.00 for the PI. These cut-off values may be useful in future studies for characterizing different bovine pathologies that affect the renal parenchyma. Our results indicate that the right adrenal gland (mean length 3.86 ± 1.39 cm; mean thickness 1.39 ± 0.26 cm) can be easily visualized from the 12th ICS, while the left adrenal gland (mean length 3.72 ± 0.95 cm; mean thickness 1.36 ± 0.33 cm) was more difficult to locate due to its more medial and caudal position, hidden by gas in the gastrointestinal tract. This doctoral thesis allows to stablish reference values for portal and hepatic blood flow, reference values for the arterial renal resistive indices and to stablish the ultrasonographic appearance and size of the adrenal glands in adult healthy Holstein-Friesian cows.

Keywords: Doppler, ultrasonography, dairy cattle, bovine, liver, kidney, adrenal glands.



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

1. IMPORTANCIA DO GANDO VACÚN LEITEIRO E DO USO DA ECOGRAFÍA NA CLÍNICA DE VACÚN

Estímase que hai 270 millóns de vacas dedicadas á produción leiteira no mundo, onde a Unión Europea (UE) é un dos grandes produtores mundiais con 23 millóns de vacas leiteiras¹. España está dentro dos 10 países con maior produción leiteira da UE, con Galicia á cabeza das rexións máis produtoras con aproximadamente o 40% da produción nacional ², indicativo da importancia de Galicia dentro deste sector produtivo primario, cuns niveis produtivos que aumentan ano a ano ³ a pesar do peche de moitas granxas anualmente. As actuais granxas leiteiras aumentan a súa capacidade de produción grazas ó aumento do número de vacas, así como ó incremento da capacidade produtiva de cada unha delas. Para este incremento, a mellora das condicións de estabulación, a nutrición axeitada, así como un manexo correcto son fundamentais.

Para a produción de leite a raza utilizada por excelencia é a Holstein-Friesian (Frisoa) a nivel mundial, con un grande asentamento no agro galego ⁴. Esta raza presenta a mellor produción leiteira dentro das razas bovinas, polo que o seu uso é maioritario. Porén presenta predisposición a diferentes patoloxías asociadas á súa alta selección xenética orientada á produción de leite, consecuencia da perda de rusticidade na selección.

Neste contexto parece evidente que a produción leiteira, focalizada fundamentalmente na raza Frisoa, é unha actividade económica de especial relevancia tanto a nivel mundial coma no noso territorio.

¹ <https://www.ciwf.org.uk/farm-animals/cows/dairy-cows>

² https://www.lavozdegalia.es/noticia/somosagro/agricultura/2019/01/02/galicia-bate-record-produccion-lactea-pese-constante-cierre-granjas/0003_201901G2P26991.htm

³ https://www.lavozdegalia.es/noticia/somosagro/agricultura/2019/01/02/galicia-bate-record-produccion-lactea-pese-constante-cierre-granjas/0003_201901G2P26991.htm

⁴ <https://www.ciwf.org.uk/farm-animals/cows/dairy-cows>

A medicina bovina é unha parte importante da actividade veterinaria e tamén do desenvolvemento rural nunha sociedade coma a galega, onde a gandería ten un gran peso social e económico ⁵.

O período previo e posterior ó parto constitúe o principal punto crítico na vida produtiva da vaca leiteira, onde o animal sofre múltiples cambios físicos, nutricionais, hormonais, etc. A problemática produtiva e a clínica asociada a este período é tema de estudo dende diferentes abordaxes (clínica, etolóxica, nutricional, etc.) dende hai tempo. Polo tanto, un bo coñecemento da fisiopatoloxía da vaca leiteira supón unha obriga para o clínico veterinario dedicado a esta especialidade, polo que a actualización dos seus coñecementos é fundamental, no campo tanto da diagnose coma do tratamento das diferentes patoloxías.

As ferramentas de diagnóstico das que dispón o clínico de campo son escasas, pero a profesionalización do sector permite e obriga ós veterinarios a unha maior especialización. Dentro destas ferramentas temos as técnicas de diagnóstico por imaxe, onde a ecografía é sen dúbida a que máis desenvolvemento ten dentro da clínica de vacún. A ecografía é unha técnica de diagnóstico por imaxe ben implantada na medicina veterinaria de pequenos animais e cabalos, que permite a valoración dos tecidos moles tanto cunha abordaxe transcutánea como endoluminal (transrectal/ endocavitaria/ transesofáxica).

Os grandes avances no equipamento ecográfico (portabilidade, prezo e calidade de imaxe) que tiveron lugar dende os anos 90 até os nosos días, vén de favorecer o uso extensivo desta ferramenta na clínica diaria non só para unha aplicación reprodutiva (Bollwein et al., 2016; Fricke et al., 2016) senón tamén para a avaliación doutros órganos e sistemas corporais (Streeter and Step, 2007; Gosselin et al., 2016; Ollivett and Buczinski, 2016), tanto para a saúde do individuo como tamén do rabaño (Buczinski, 2009a; b, 2016).

A ecografía é unha técnica de imaxe non invasiva que mediante a transmisión e recepción de ultrasóns permite mellorar a diagnose, establecer ás veces un pronóstico e monitorizar as enfermidades, así como favorecer a toma de mostras de xeito pouco traumático, polo que a súa valía é incalculable na rutina diaria (Streeter and Step, 2007; Buczinski, 2009b, 2016). O seu uso no entanto depende da destreza do operador polo que esixe unha experiencia e coñecementos para un uso óptimo da técnica.

As principais vantaxes sobre outras técnicas de imaxe son o seu baixo custo, a portabilidade, ausencia de radiacións ionizantes, gran resolución de contraste e espacial

⁵ https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/cap04_10_t3_tcm30-102514.pdf

nos tecidos moles, así como a obtención de cortes anatómicos con ausencia de superposición de estruturas (Blond and Buczinski, 2009; Mattoon and Berry, 2021).

Pola súa importancia económica, o uso máis estendido da ecografía bovina é aquel aplicado á medicina da reprodución, onde esta técnica permite o diagnóstico das patoloxías asociadas á infertilidade así como a valoración do ciclo estral e a xestación (DesCôteaux et al., 2009; Fricke et al., 2016). Asimesmo, a exploración ecográfica doutros sistemas (gastrointestinal, respiratorio, musculoesquelético, etc.) resulta imprescindible. A ecografía nestas áreas complementa a exploración de xeito fundamental posto que as patoloxías situadas nestes órganos poden producir sintomatoloxías pouco específicas e mal valoradas coa palpación, auscultación e análise sanguínea (Streeter and Step, 2007). Na bibliografía dos últimos 20 anos temos moitas referencias á imaxe en modo-B tanto normal como patolóxica de diferentes sistemas orgánicos coma o pulmón (Babkine and Blond, 2009; Ollivett and Buczinski, 2016), o tracto dixestivo -tanto en vacas (Streeter and Step, 2007; Braun, 2009a) coma en animais novos (Braun, 2016), o fígado (Braun, 2009b, 2016), o sistema urinario (Braun, 1991, 1993; Floeck, 2009), cardiovascular (Streeter and Step, 2007; Mitchell and Schwarzwald, 2016), etc. Porén inda non foi descrita na bibliografía científica a imaxe ecográfica normal das glándulas adrenais en bovinos, tan coñecidas noutras especies coma nos cans ou gatos (d'Anjou and Penninck, 2015a; Neelis et al., 2021), a pesar da súa grande influencia no nivel produción do gando vacún.

Mediante o aproveitamento do efecto Doppler aplicado ós ultrasóns, os modernos equipos de ecografía permiten a obtención de información sobre o fluxo sanguíneo, tanto de forma visual en cores, como de forma cuantitativa e medible. A integración da ecografía Doppler nas últimas décadas permitiu mellorar a funcionalidade da ecografía en modo-B na clínica reprodutiva (Bollwein et al., 2016; Fricke et al., 2016), así como na exploración de diferentes vasos como a vea "do leite" (Braun and Hoegger, 2008), a vea musculofrénica nas vacas normais (Braun et al., 2009), durante o período seco (Braun and Forster, 2012) e na vaca lactante (Braun et al., 2013), a arteria carótide e a vea xugular externa (Braun and Föhn, 2005) e a vea porta no fígado graxo (Starke et al., 2011). No entanto, os valores normais do fluxo sanguíneo mediante ecografía Doppler para os vasos portais, cava caudal e ramas hepáticas, aorta e vasos renais entre outros non están descritos na bibliografía previa a este traballo de investigación, sendo fundamentais para avaliar a funcionalidade destes órganos e o sistema circulatorio en xeral.

2. ECOGRAFÍA NA VACA LEITEIRA

2.1 EXPLORACIÓN ECOGRÁFICA

2.1.1. Selección do transdutor e modo de imaxe

Na exploración ecográfica abdominal, para xerar/captar ultrasóns dispoñemos de diferentes tipos de transdutores, os cales podemos clasificar en función da súa xeometría e a súa frecuencia de emisión/recepción de ultrasóns. Temos transdutores lineais, curvilíneos (coa súa variante microconvexa) ou anulares (*phased array*). Os primeiros son amplamente usados na ecografía abdominal pola súa maior resolución anatómica, xa que ao dispoñer dun maior número de cristais piezoeléctricos a emisión e recepción dos ultrasóns é mellor (Blond and Buczinski, 2009; Mattoon and Berry, 2021). Por este motivo e dado a grande extensión e tamaño das estruturas abdominais na vaca adulta, normalmente é recomendado o uso de transdutores de gran tamaño, tanto de tipo curvilíneos coma lineais (Streeter and Step, 2007; Blond and Buczinski, 2009), inda que a gran superficie de apoio das sondas de gran tamaño supoña tamén un problema, debido á maior superficie de contacto necesaria para obter unha óptima imaxe.

A frecuencia dos ultrasóns garda relación coa capacidade de penetración do feixe e coa resolución da imaxe. A medida que elevamos a frecuencia (menor lonxitude de onda) diminúe a capacidade de penetración, pero como o tamaño do píxel na imaxe é menor, mellora a calidade da imaxe. No tocante ós órganos abdominais, o seu gran tamaño xunto co grande espesor da pel e tecido subcutáneo, fan que os transdutores de media-baixa frecuencia sexan os máis útiles para a exploración destes órganos na vaca adulta. Polo tanto para a exploración abdominal de grandes animais é aconsellable o uso de transdutores de baixa-media frecuencia (1-7.5 MHz) cunha xeometría do feixe curvilínea para obter unha maior amplitude das estruturas profundas. Os transdutores lineais son útiles pero menos prácticos á hora de avaliar dun xeito óptimo os órganos abdominais parenquimatosos por mor da súa menor apertura (Streeter and Step, 2007; Blond and Buczinski, 2009).

Para representar a información obtida, o modo ecográfico máis estendido é o modo-B, bidimensional ou “brillo”, onde as estruturas, especialmente os tecidos moles, son representadas nunha escala de grises a modo de mapa en base á impedancia acústica dos tecidos (dificultade para a transmisión dos ultrasóns). Tanto o aire coma o óso non xeran imaxe pola súa gran diferenza na velocidade de transmisión dos ultrasóns, polo que obter imaxe dos tecidos máis distais das estruturas subxacentes a interfases con aire ou óso non é posible (**Figura 1**).

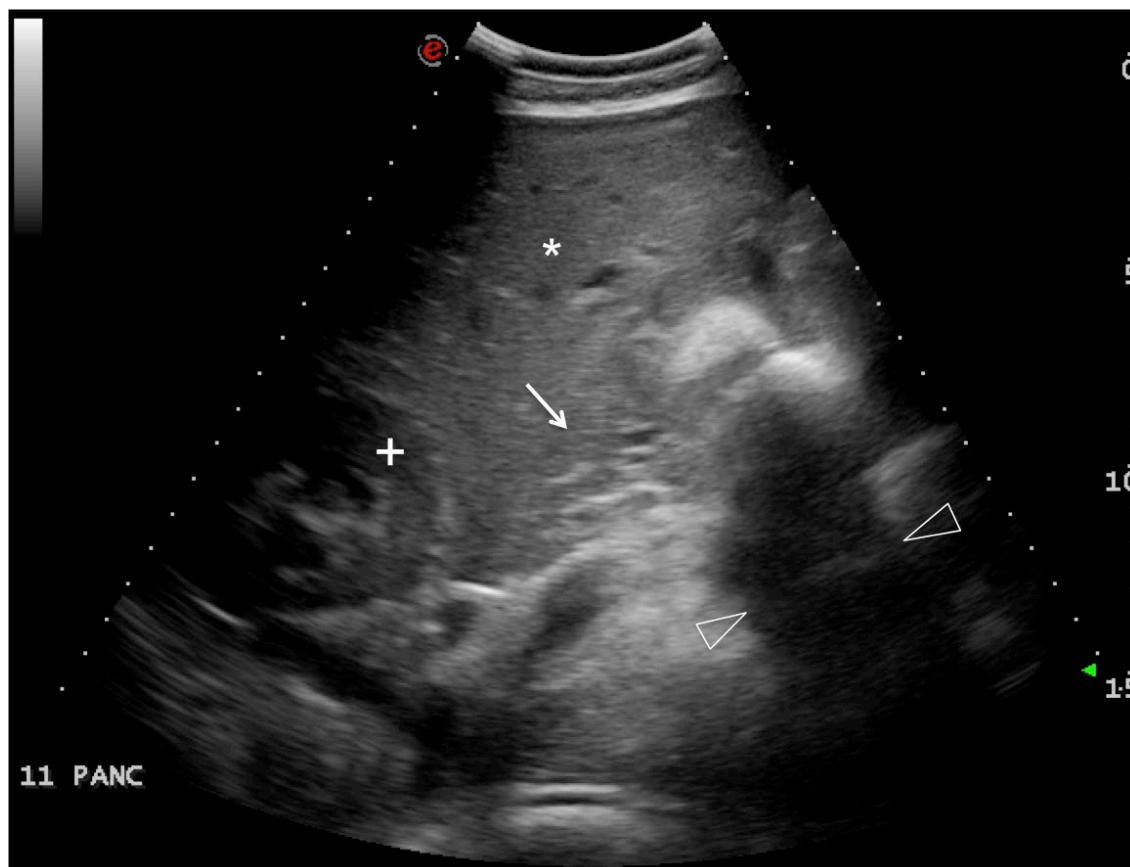


Figura 1. Imaxe en modo B onde podemos apreciar diferentes graos na gama de grises, indicativos das diferentes impedancias acústicas no fígado (*), ril dereito (+), páncreas (frecha), así como os artefactos de sombra acústica asociados ás estruturas con gas como o tracto gastrointestinal (puntas de frecha).

2.1.2. Preparación do animal en estudo

Unha das dificultades cotiás na exploración ecográfica dos pacientes veterinarios é a preparación da superficie de contacto, para conseguir unha boa transmisión dos ultrasóns a través dos tecidos. No caso da ecografía transrectal ou daquelas rexións hidratadas (por exemplo, o ollo) simplemente teremos que axudarnos de xel de ecografía para un bo contacto da sonda coa superficie corporal de interese. Porén, cando falamos da ecografía transcutánea precisamos rasurar o pelo e limpar adecuadamente a pel do animal, posto que a gran cantidade de pelo retén aire que reflicte e impide a boa transmisión dos ultrasóns (**Figura 2**). O uso de alcol pode axudar a unha exploración rápida en puntos focais, pero para unha boa avaliación das estruturas é conveniente realizar o rasurado do pelo, así como a limpeza da pel, especialmente nos animais de granxa que poden ter abundante cantidade de residuos adheridos. Esta preparación pode supoñer un

problema, tanto polo tempo requirido, como polo efecto antiestético, cando isto sexa relevante (Streeter and Step, 2007).

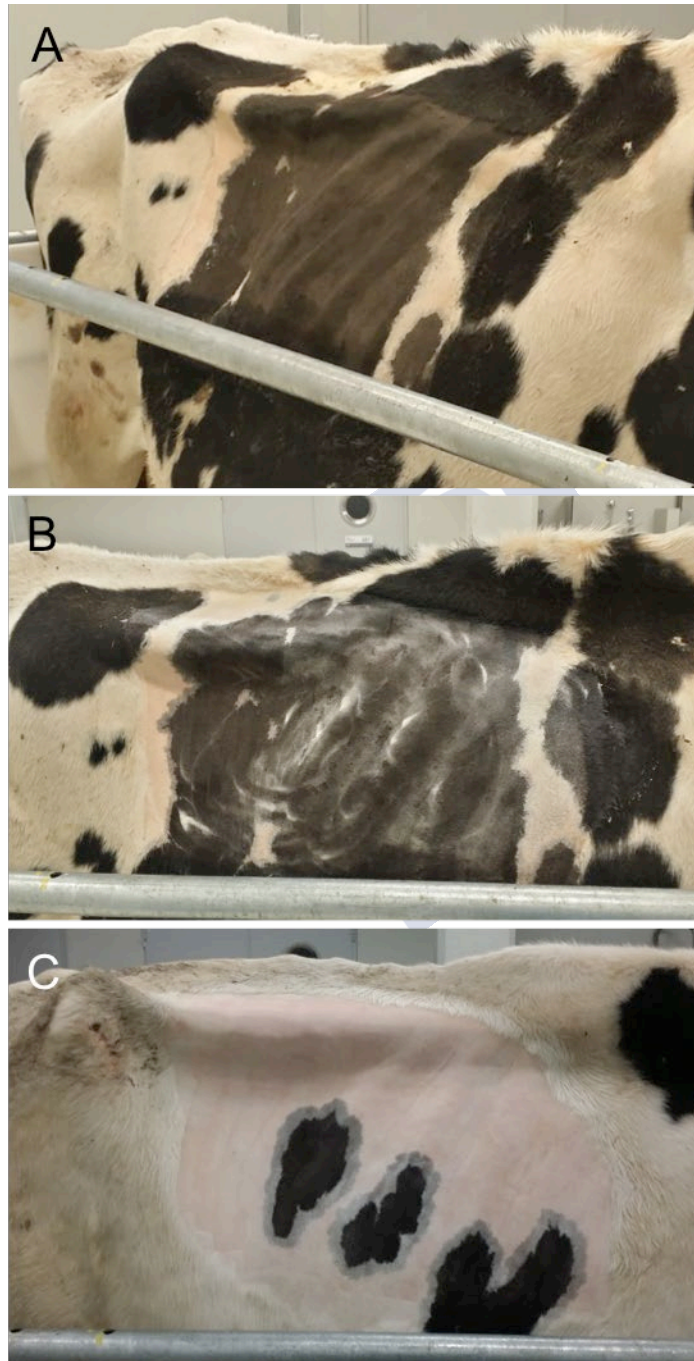


Figura 2. Preparación óptima da pel do animal para obtención da imaxe ecográfica, mediante rasurado da rexión de interese (A) e limpeza con auga quente e xabón (B) para deixar a superficie de contacto co transdutor ecográfico limpa e hidratada (C).

2.1.3. Abordaxe ecográfica

Para a colocación do transdutor teremos en conta a parte do animal onde se atopa a estrutura de interese. No flanco podemos colocar o transdutor en calquera posición xa que non temos estruturas óseas que impidan o movemento libre da sonda na superficie da pel do paciente. Porén nos espazos intercostais a posición natural do transdutor convexo ou lineal é aliñado en sentido dorsoventral, posto que a gran pegada do transdutor ten máis superficie de contacto que a anchura do espazo intercostal. Incluso nos espazos intercostais é posible a obtención de cortes oblicuos e dorsais, tendo en conta que teremos a sombra acústica das costelas superpostas na imaxe, polo que a cantidade de tecido explorable é inferior que nos cortes dorsoventrais (transversais ó abdome) (**Figura 3**).

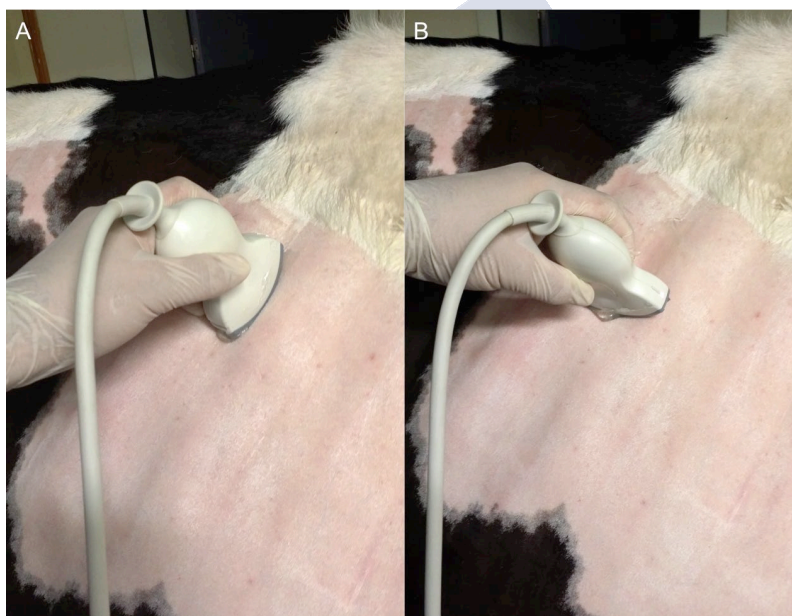


Figura 3. A) aliñamento da sonda co espazo intercostal. B) obtención dun corte lonxitudinal, transverso á dirección do espazo intercostal para a exploración do fluxo portal e outros vasos de interese.

2.2 ANATOMÍA TOPOGRÁFICA E ECOGRÁFICA ABDOMINAL NA VACA

2.2.1. Cavidade abdominal

A meirande parte do abdome da vaca está ocupado por vísceras que conteñen gas, polo que a avaliación ecográfica redúcese ó campo máis superficial achegado á parede abdominal, xa que o aire obstaculiza a obtención de imaxes das estruturas profundas. No

hemiabdome esquerdo, o bazo é o único órgano parenquimatoso que pode ser avaliado ecograficamente, xa que os preestómagos ocupan o resto do hemiabdome.

Porén, no hemiabdome dereito temos a meirande parte dos órganos parenquimatosos explorables de interese: o fígado, o páncreas, os riles e as glándulas adrenais. Fígado, páncreas e riles están ben descritos na ecografía en modo B na bibliografía (Pusterla and Braun, 1997; Braun, 2009b, 2016; Floeck, 2009; Starke et al., 2011, 2012). Non atopamos no entanto referencias á descrición ecográfica das glándulas adrenais, que si son frecuentes noutras especies domésticas como cans ou gatos (d'Anjou and Penninck, 2015a; Neelis et al., 2021).

Todas estas estruturas parenquimatosas ocupan a parte dorsal e cranial do hemiabdome dereito sen superposición das diferentes seccións do tracto gastrointestinal (**Figura 4**). No entanto, a interferencia do pulmón nas áreas máis craniais do fígado, impide a súa exploración transabdominal. Os grandes vasos ocupan a porción dorsal da cavidade abdominal, coa seguinte disposición de dorsal a ventral: aorta, vea cava caudal e vea porta. A vea porta xa é visible ecograficamente á altura da parte media das derradeiras costelas.

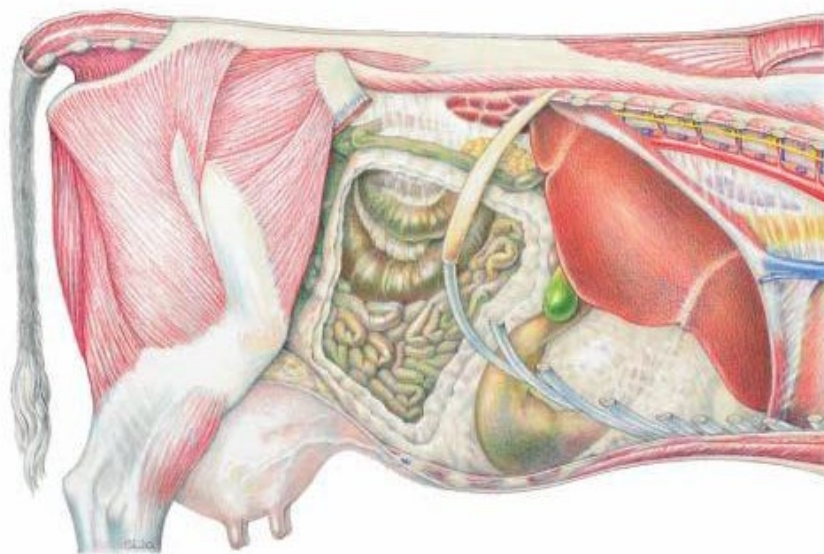


Figura 4. Anatomía topográfica do abdome dereito da vaca tomado de Budras et al. (2011).

Se proxectamos tódalas estruturas de interese de xeito esquemático podemos observar na **figura 5** a proximidade e relación entre elas nun animal adulto. De caudal a cranial, dende o flanco dorsal a ventral, seguindo un protocolo estándar de exploración do abdome no animal adulto (Braun, 2009b; a), podemos atopar, por orde, o ril esquerdo (sempre que estea suficientemente lateralizado á dereita), o ril dereito, craniodorsal ó

esquerdo, que xa contacta coa impresión renal do fígado, comezando a explorarse caudal á derradeira costela ou xa entre os espazos intercostais. No dorso da cavidade, medialmente ó ril dereito, atopamos a aorta e a vea cava caudal que serven como referencias vasculares para a localización das glándulas adrenais, do mesmo xeito que en pequenos animais (d’Anjou and Penninck, 2015a; Neelis et al., 2021). Unha vez chegados ó fígado, desprazándonos en sentido ventral poderemos atopar nunha altura media a vea porta, que presenta gran calibre ó recibir dúas grandes ramas venosas de xeito contraposto que son: a vea esplénica (medialmente) e a vea mesentérica cranial (caudolateral). Cranialmente, xa no parénquima hepático, a vea porta emite unha gran cantidade de pequenas ramas ó lobo dereito (ramas “estreladas”) en diferentes direccións, e unha gran rama esquerda que vai dirixida en sentido ventromedial para irrigar o resto do parénquima. As veas hepáticas non seguen una distribución satélite das ramas portais, polo que a súa dirección claramente medial fainas facilmente recoñecibles.

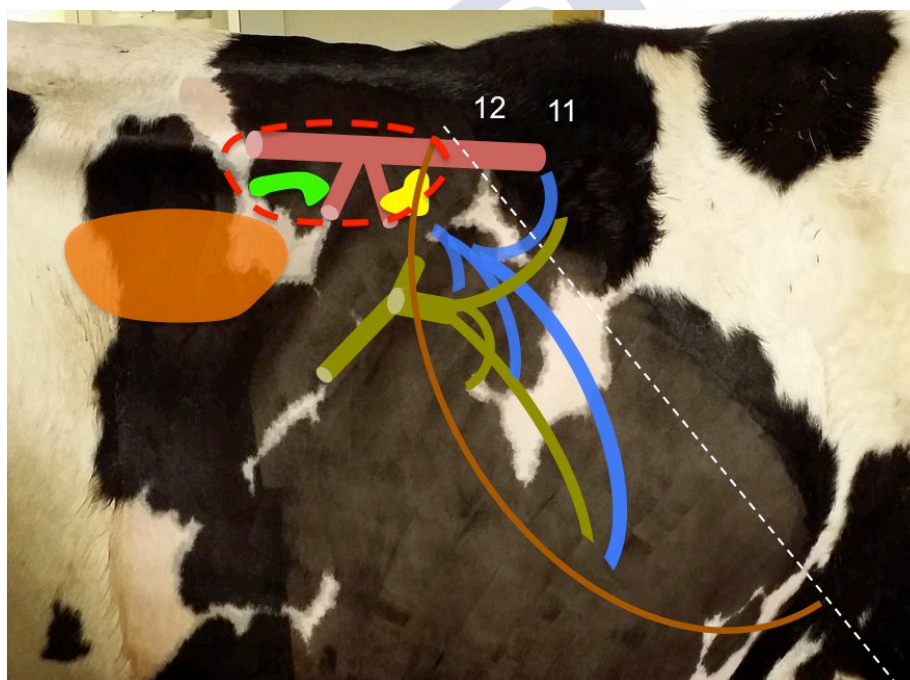


Figura 5. Esquema das estruturas avaliadas no presente proxecto de tese. Lenda: Liñas vermellas descontinuas, ril dereito; figura sólida laranxa, ril esquerdo; estruturas tubulares vermellas apagadas, aorta e as súas principais ramas abdominais –arteria celíaca a mesentérica cranial; estruturas tubulares azuis, sistema venoso hepático; estruturas tubulares verdes, sistema porta intra e extrahepático; liña marrón continua, bordo caudal do fígado; liña branca descontinua, proxección do bordo pulmonar.

Xa no aspecto máis ventral do fígado atoparemos a vesícula biliar en forma de pera. Cranialmente a este punto o pulmón impide avaliar o parénquima hepático.

O fígado non posúe fisuras ben definidas que permitan a súa separación en lobos facilmente, polo que a súa lobulación determínase en base á anatomía vascular dos sistemas portal e venoso hepático. A fosa da vesícula biliar separa os lobos dereito e cadrado, situado este último na zona media, antes do lobo esquerdo co cal está fusionado.

2.2.2. Fígado e sistemas venosos hepático e portal

Pola súa disposición anatómica, o fígado unicamente pode ser explorado con ecografía dende o hemiabdomen dereito, na área comprendida dende a derradeira costela ata o 5º espazo intercostal (EIC) (Braun, 2009b, 2016), con sondas de 3,5-5 MHz de tipo lineal ou convexo. O seu parénquima presenta unha ecoxenicidade media, lixeiramente hiperecoxénica ó córtex renal (Streeter and Step, 2007), cunha ecotextura homoxénea de gran medio. Os seus bordos son agudos en condicións normais. Tanto a ecotextura, ecoxenicidade, como o tamaño das diferentes estruturas hepáticas pode avaliarse axeitadamente con esta abordaxe, perdendo unicamente a visualización da parte máis cranial e medial por mor da superposición do pulmón. O tamaño xeral do órgano é valorado segundo a súa profundidade máxima (distancia lateromedial dende a parede costal), así como a extensión dorsoventral (centímetros de distancia do bordo distal respecto da liña media dorsal) e craniocaudal (extensión caudal en referencia ós EIC ou flanco). Un indicador indirecto do seu tamaño é a posición relativa da vesícula biliar. Este tamaño vén de asociarse a diferentes factores de variabilidade como son a lactación, a altura, tamaño corporal, preñez e outras (Braun, 2009b).

O patrón arterial do fígado non é normalmente visible ecograficamente coma nas outras especies domésticas, estando integradas as arterias intrahepáticas nas paredes dos vasos portais (d'Anjou and Penninck, 2015b; Larson et al., 2021, sen referencias en bóvidos). As diferentes veas, tanto do sistema porta como do sistema venoso hepático-cava caudal, son visibles e poden ser medidas posto que o parénquima hepático serve de xanela ultrasónica para poder visualizar estas estruturas tanto no interior do seu parénquima coma antes de penetrar no fígado. A vea cava caudal e as súas tributarias sitúanse dorsomediais ó sistema porta, cunha distribución intrahepática significativamente diferente á distribución dos vasos portais intrahepáticos (Shirai et al., 2005) (**Figura 6**).

Esta distribución marcadamente diferente permite a súa identificación ecográfica, especialmente preto do hilo portal, xa que as ramificacións iniciais da vea porta (ramas dereitas) dispóñense como ramas “estreladas” ou “en estrela”, nomeadas así pola súa semellanza cos raios dunha estrela (moitos e pequenos que saen do corpo da vea porta: Braun, 2009b, 2016), continuándose por un gran tronco diferencial que é a vea porta esquerda, da que saíran o resto de ramas para os lobos esquerdo e cadrado (os lobos

dereito e caudado están irrigados polas ramas en estrela ou dereitas). Tanto a vea porta coma a vea cava caudal son vasos de grandes dimensións (a vea porta ten un diámetro medio de 2.9-5.3 cm, e a vea cava caudal de 1.8-5.1 cm), podendo diferenciarlos amais de pola súa localización, pola súa forma en sección. A vea porta ten unha sección circular mentres que a vea cava caudal intrahepática ten forma tipicamente triangular en corte transversal debido a que está situada no suco da vea cava do fígado que lle confire este aspecto (Braun, 2009b, 2016). A nivel intrahepático as características dos vasos hepáticos e portais son semellantes, cunha leve diferenza na ecoxenicidade, que se ve incrementada nas paredes dos vasos portais coma noutras especies domésticas (Braun, 2009b, 2016; d'Anjou and Penninck, 2015b; Larson et al., 2021), debido á integración dos condutos biliares e arterias intrahepáticas no tecido conectivo periférico (tríade portal). En condicións normais estas estruturas non son discernibles ecograficamente polo seu reducido tamaño.

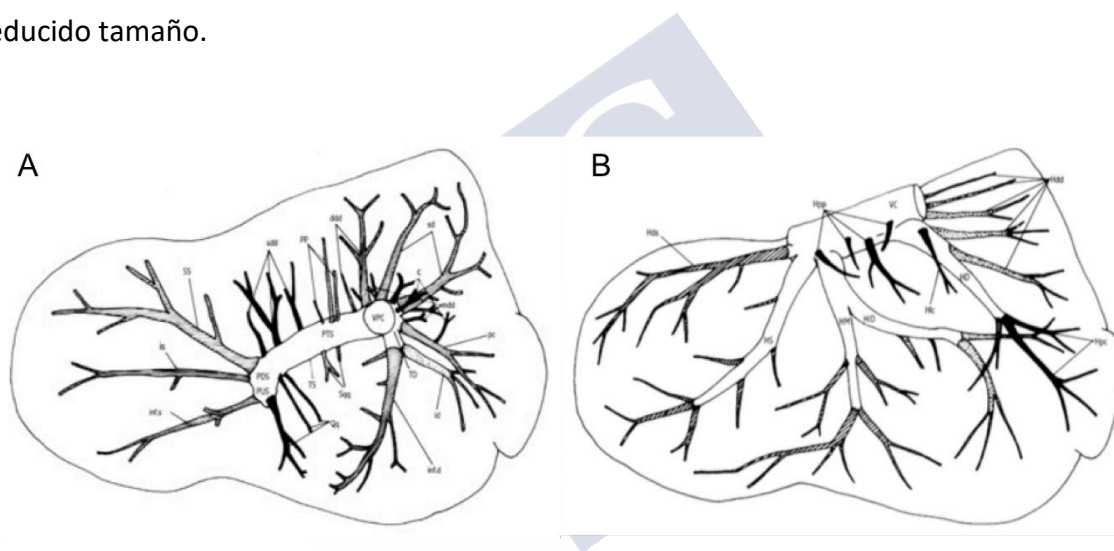


Figura 6. Esquema da vascularización máis común dos sistemas venosos portal (A) e hepático coa vea cava caudal (B), tomado de Shirai (2005). Observamos como os patróns amosan unha clara diferenza entre a distribución de ámbolos dous sistemas venosos.

Tanto en humanos, coma nos cans e gatos as características do fluxo Doppler no sistema porta están ben descritas, tanto nos seus valores normais de referencia, coma en situacións clínicas de cirrose, comunicacións portosistémicas, etc. (Lamb and Mahoney, 1994; McNaughton and Abu-Yousef, 2011; d'Anjou and Penninck, 2015b; Nyland et al., 2015; Larson et al., 2021). Porén, o fluxo portal foi estudado en vacas mediante métodos invasivos para a medición de diferentes estados metabólicos (Carr and Jacobson, 1968; Wangsness and McGilliard, 1972; Klotz and Heitmann, 2007; Braun, 2009b; Starke et al., 2012), así como, para determinar os factores que poden influenciar a variabilidade do fluxo hepático, como a dieta, a actividade física, a respiración ou a produción láctea (Lomax and Baird, 1983). O fluxo portal foi estudado mediante ecografía Doppler

unicamente para a caracterización do fígado graxo, sen chegar a establecer uns parámetros base normais e unha correcta caracterización do devandito fluxo.

2.2.3. Glándulas adrenais

A avaliación ecográfica sistemática das glándulas adrenais é un feito cotián na clínica veterinaria, tanto en cans como en gatos ou furóns (d'Anjou and Penninck, 2015a; Neelis et al., 2021), no entanto, a aparencia ecográfica das adrenais en bovinos non está descrita na bibliografía.

As glándulas adrenais forman parte importante do sistema endócrino, véndose influenciadas polos estados de estrés crónico, en moitos casos asociados ós métodos de explotación, transporte, así como patoloxías típicas do gando vacún, que poden modificar o peso e o tamaño das adrenais (Blutke et al., 2015; Braun et al., 2019; Capra et al., 2019).

Anatomicamente as glándulas adrenais sitúanse no dorso da cavidade abdominal, craniomediais a cadanseu ril (**Figura 7**).

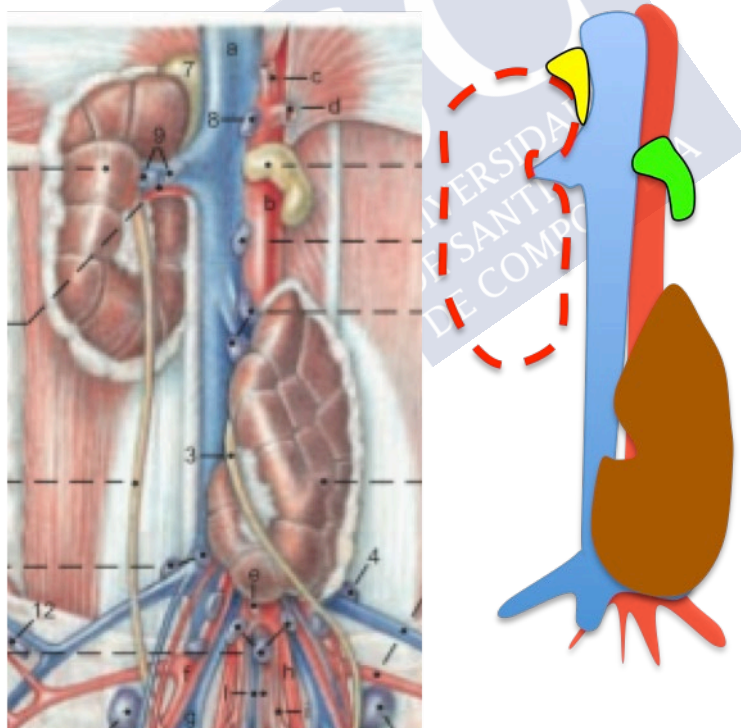


Figura 7. Localización dos riles e das glándulas adrenais en relación ós grandes vasos abdominais no dorso da cavidade abdominal nun animal novo en decúbito supino. O ril e adrenal esquerdos (á dereita e abaixo na imaxe) desprázanse á dereita sobre a liña media ou ó hemiabdomen dereito no animal adulto (tomado e baseado de Budras et al., 2011). Trazo vermello, ril dereito; forma marrón, ril esquerdo; forma marela, adrenal dereita; forma verde, adrenal esquerda. A vea cava caudal en azul e a aorta en vermello serven de marcas para o exame ecográfico.

Sitúanse ben asociadas ós grandes vasos abdominais, cunha disposición asimétrica: a glándula dereita contigua á vea cava caudal a nivel do 12º EIC, entre o polo cranial do ril dereito e a cara visceral do fígado; e a glándula esquerda asociada á parte ventral de vea cava caudal e aorta sobre o nivel da primeira vértebra lumbar, varios centímetros cranialmente ó ril esquerdo e en contacto estreito co rume. Ámbalas dúas glándulas tenden a ser aplanadas, cun córtex e medula apreciables, cunha lonxitude que varía entre 5 e 8 cm segundo a bibliografía (Barone, 2001; König and Liebich, 2005; Budras and Wünsche, 2011; Braun et al., 2014; Singh, 2018).

A situación anatómica das glándulas adrenais fai pouco útil unha abordaxe transrectal para poder exploralas ecograficamente, e polo tanto a súa caracterización transabdominal é fundamental. No campo do diagnóstico por imaxe só atopamos unha referencia en xatos mediante tomografía computadorizada (TC) (Braun et al., 2014), técnica de alto custo que non está dispoñible normalmente na clínica de vacún, e non é aplicable en animais de gran tamaño coma os bovinos adultos.

2.2.4. Riles

A avaliación ecográfica en modo B dos riles está ben descrita na bibliografía científica, axudando ó clínico a discernir entre unha alteración de vías urinarias baixas ou altas, entre unha afección focal ou difusa, así coma entre unha alteración aguda ou crónica (Braun, 1991, 1993; Hayashi et al., 1994; Floeck, 2007, 2009; Seif and Bakr, 2007; Braun et al., 2008; Imran and Sharma, 2014). Esta exploración ecográfica ten especial interese debido a que a analítica sanguínea nos bóvidos pode non reflectir o dano renal por mor do metabolismo ruminal que amortece os valores de urea e creatinina sanguíneos (Braun et al., 2008; Floeck, 2009).

A exploración ecográfica transabdominal dos riles na vaca adulta realízase polo hemiabdomen dereito, sendo facilmente visible o ril dereito, mentres que o ril esquerdo, desprazado á dereita da liña media polo rume, é só visible ocasionalmente, se non está oculto debido á presenza de gas no sistema gastrointestinal (Floeck, 2009). Para mellorar a avaliación transcutánea do ril esquerdo está descrita unha manobra asistida por palpación transrectal que mellora a súa visualización dende o flanco (Imran and Sharma, 2014).

Ecograficamente podemos valorar o tamaño, ecotextura e ecoxenicidade do parénquima renal, onde a súa arquitectura lobulada é facilmente distinguible (Floeck, 2009). Córtex e medula renal son identificados pola súa diferente ecoxenicidade, sendo o córtex lixeiramente hipoecoxénico con respecto ó parénquima hepático, cando comparamos o ril dereito, mentres que a medula é claramente hipoecoxénica. O seo renal é a estrutura máis hiperecoxénica do ril debido ó seu contido en tecido conectivo, onde podemos

observar traxectos tubulares que corresponden ós vasos sanguíneos e ó uréter proximal-cálices renais.

O tamaño transversal poder ser avaliado facilmente en cortes transversais, mentres que a dimensión craniocaudal dos riles é normalmente superior ó límite máximo dos transdutores, polo que o seu tamaño lonxitudinal pódese estimar en referencia ás estruturas corporais esqueléticas anexas (corpos vertebrais). Nos animais de condición corporal alta, a presenza de graxa pode ser causa dunha mala transmisión de ultrasóns e por tanto dunha pobre imaxe dos riles. O seu gran tamaño e profundidade obrigan a usar transdutores de media-baixa frecuencia que por si teñen unha menor resolución espacial, e polo tanto unha menor calidade na imaxe. Esta redución na calidade de imaxe pode facer que pasen inadvertidas algunhas irregularidades no parénquima.

En condicións normais a ecografía en modo B pode distinguir a lobulación característica dos riles bovinos, diferenciando entre as partes cortical e medular, así como o hiperecoxénico seo renal, cun uréter-pelve renal de suficiente entidade como para ser avaliado no hilo renal (Floeck, 2009).

Na bibliografía non atopamos referencias ás características do fluxo renal mediante a exploración con ecografía Doppler no gando vacún, no entanto, é unha técnica que vén de amosar a súa valía tanto na especie humana coma noutras especies domésticas (Scoutt and Taylor, 1999; Novellas et al., 2007, 2008a, 2008b, 2010; Carvalho and Chammas, 2011; Ostrowska et al., 2016; Tipisca et al., 2016; Chen et al., 2016; Bragato et al., 2017; Di Nicolò and Granata, 2017; Matos et al., 2018; Maksoud et al., 2019; Agut et al., 2020; Freccero et al., 2020), posto que a dinámica vascular renal está relacionada coa súa funcionalidade (Bragato et al., 2017). No gando bovino o metabolismo ruminal pode facer que os parámetros sanguíneos de funcionalidade renal non estean alterados a pesar de sufrir un dano renal significativo (Floeck, 2009).

A obtención de valores de referencia está polo tanto xustificada para poder avaliar a funcionalidade renal en relación a diferentes factores fisiolóxicos e patoloxías que afectan ó gando vacún, aínda que a ecografía en modo-B non amose signos de alteración renal.

Para chegar a un diagnóstico definitivo a toma de mostras ecoguiada tamén está indicada nas patoloxías do ril, reducindo o risco de hemorraxias (Mohamed and Oikawa, 2008; Floeck, 2009; Bragato et al., 2017; Szymanski et al., 2018).

3. ECOGRAFÍA DOPPLER

O efecto Doppler aplicado á ecografía permite detectar e mesmo cuantificar o movemento do fluxo sanguíneo de xeito non invasivo. Os usos da ecografía Doppler nos diferentes órganos e sistemas axudan ó clínico e/ou investigador a caracterizar o fluxo sanguíneo tanto nas condicións de normalidade coma nas diferentes patoloxías.

3.1. FUNDAMENTOS DA ECOGRAFÍA DOPPLER

3.1.1. O efecto Doppler

O efecto Doppler descríbese como o cambio de frecuencia aparente dunha onda relativa entre un emisor e un receptor, cando un deles ou ben os dous está/n en movemento. A frecuencia aparente incrementárase de xeito proporcional cando ambos os elementos están en aproximación, facendo que o son (no caso das ondas acústicas) sexa máis agudo. Ó afastárense un do outro, o son será cada vez máis grave, é dicir, a súa frecuencia aparente irá diminuíndo. Este efecto foi descrito por Christian Doppler (1803-1853), do que toma o seu apelido, aplicado ás ondas lumínicas das estrelas na súa obra de 1842 *“Über das farbige Licht der Doppelsterne und einige andere Gestirne des Himmels”* (“Sobre da cor da luz das estrelas dobres e outros astros do ceo”)⁶. Este efecto foi tamén descrito por Buys Ballot en 1845 nas ondas sonoras, e do mesmo xeito por Hippolyte Fizeau para as ondas electromagnéticas en 1848⁷.

Na aplicación do efecto Doppler á ecografía, o feixe de ultrasóns que emite o transdutor propágase nos tecidos a unha frecuencia (f_0) e velocidade (c) coñecidas. A interacción dos ultrasóns con partículas en movemento, tipicamente sangue no caso da ecografía corporal, modifica a frecuencia do ultrasón reflectido (f). Esta diferenza de frecuencia ($\Delta f = f - f_0$) é medible e proporcional á velocidade do sangue. Para poder calcular correctamente esta velocidade temos que ter en conta un factor de corrección obtido da descomposición vectorial da velocidade: o coseno do ángulo entre a dirección do feixe incidente e o vaso problema que contén o sangue en estudo, chamado **ángulo de insonación** (α). A fórmula que relaciona estes parámetros e que permite polo tanto coñecer a velocidade do sangue nun punto concreto do espazo é a seguinte:

$$V = \frac{fc}{2 f_0 \cos \alpha}$$

O ángulo de insonación, como podemos interpretar en base á devandita fórmula, ten unha importancia capital xa que, de xeito matemático, cando $\alpha = 90^\circ$ (perpendicular ó

⁶ https://es.wikipedia.org/wiki/Christian_Andreas_Doppler

⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Doppler

fluxo) o seu $\cos = 0$, polo que a resultante sempre será 0 independentemente do fluxo sanguíneo. Do mesmo xeito, o coseno deste ángulo ten un erro aritmético implícito que é tanto menor canto máis próximo a 0° . Na ecografía abdominal considérase aceptable por consenso un ángulo menor ou igual a 60° para que os valores non teñan un erro excesivo na súa estimación, como podemos observar na **figura 8** (Taylor et al., 1995; Blond and Buczinski, 2009; d’Anjou and Penninck, 2015b; Mattoon and Berry, 2021).

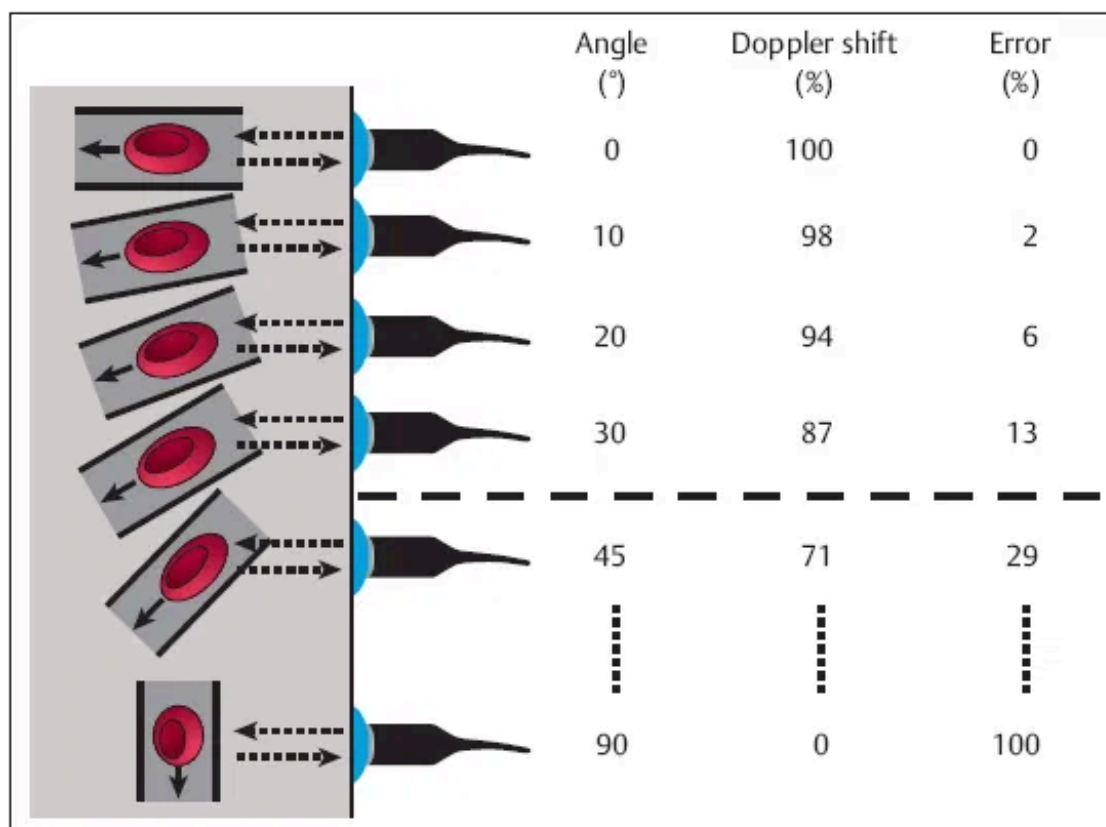


Figura 8. Representación esquemática do erro acumulado en función do ángulo de insonación. Tomado de <https://neupsykey.com/and-ultrasound-basics/>.

3.1.2. Representación do cambio Doppler

Unha vez coñecida a velocidade do sangue, o ecógrafo permite representar esta de diferentes xeitos (modos): color, potenciado ou espectral. O modo espectral pode ser pulsátil ou continuo. Estes modos poden estar combinados na imaxe de xeito simultáneo en función das capacidades do ecógrafo (modos “dúplex” ou “tríplex” en función da cantidade de modos simultáneos observados no equipo).

Os **modos Doppler color e potenciado** permiten visualizar nunha gama de cores a velocidade (color), amplitude (potenciado) e dirección do fluxo sanguíneo (color), de xeito superposto á imaxe en modo B. De xeito xeral asignamos a cor vermella para aquel fluxo que se achega ó transdutor (cara a arriba na imaxe ecográfica), e azul para o que se afasta del (cara a abaixo na imaxe) (**Figura 9**). O seu uso fundamental é para obter un mapa de fluxo indicativo do volume de sangue en movemento, así como para localizar e posicionar a xanela onde obter un espectro Doppler (Taylor et al., 1995; Blond and Buczinski, 2009; d'Anjou and Penninck, 2015b; Mattoon and Berry, 2021). A gran sensibilidade do Doppler potenciado fai que sexa común a presenza de artefactos na imaxe que dificultan a súa interpretación. Só en estruturas superficiais e con pouco movemento corporal este modo é útil para valorar fluxos de moi baixa intensidade/velocidade.

Estes modos son moi útiles para a detección de vasos sanguíneos, así como a diferenciación con estruturas tubulares distintas ós vasos sanguíneos como nervios, uréteres, etc.

Os **modos espectrais** (pulsátil e continuo) permiten cuantificar ó longo do tempo o fluxo dunha determinada área da imaxe ecográfica (**Figura 9**). Estes modos permiten cuantificar de xeito obxectivo a velocidade, características e cantidade de fluxo. A diferenza entre estes modos fundamentalmente é que só o pulsátil permite discriminar o punto concreto do feixe de ultrasóns onde queremos obter a información do fluxo sanguíneo (mediante a emisión de pulsos discontinuos de ultrasóns), mentres que o continuo obtén información de todo un traxecto ou área da imaxe de interese, sen discriminar aqueles sons máis próximos ou máis afastados do transdutor. Porén o modo continuo permite obter rexistros de velocidades moi altas onde o pulsátil non chega. Este tipo de velocidades non aparecen na ecografía abdominal, polo que fundamentalmente usamos o modo pulsátil. O espectro obtido en ámbolos dous métodos amosa a cantidade de partículas sanguíneas que viaxan a unha determinada velocidade (eixo vertical) en relación ó tempo (eixo horizontal) mediante o brillo/intensidade dos puntos na gráfica (amplitude representada cunha gama de grises onde canto máis branco, máis cantidade de partículas sanguíneas). Polo tanto, no espectro temos representadas 3 variables: tempo, frecuencia/velocidade e potencia.

En resumo, no caso da ecografía abdominal, tanto o Doppler color como o pulsátil son os modos máis empregados, xa que permiten obter información sobre a distribución dos vasos nos órganos parenquimatosos como o ril ou o fígado, e cuantificar obxectivamente o fluxo nos diferentes vasos de xeito individualizado.

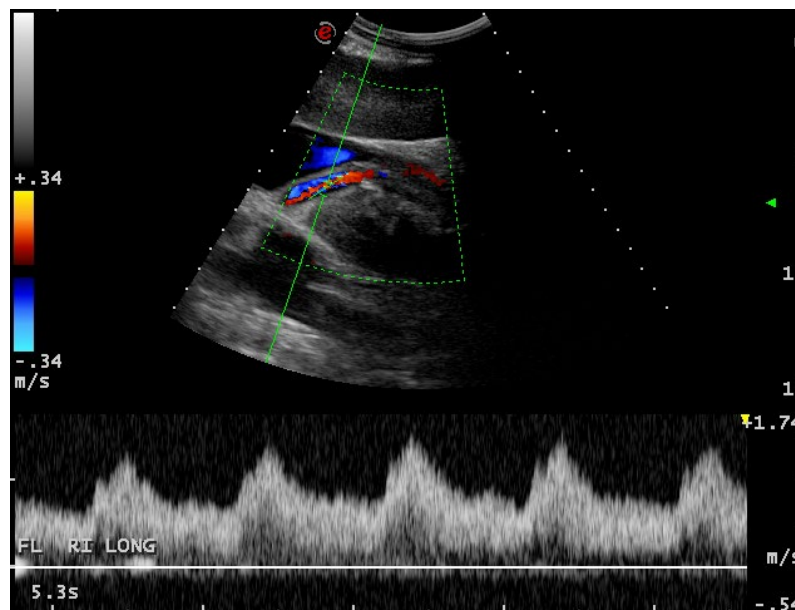


Figura 9. Imaxe do ril esquerdo en corte lonxitudinal, onde podemos apreciar o modo Doppler color superposto á imaxe en modo B (Escala de grises), así como o modo espectral pulsátil, que permite representar ó longo da gráfica inferior a velocidade e intensidade do fluxo sanguíneo nun punto concreto do espazo ó longo do tempo.

3.2. TIPOS DE FLUXO SANGUÍNEO

En función do tipo de vaso (arterial ou venoso), o seu tamaño, a súa proximidade ó corazón e vinculación coa circulación sistémica, así como a súa xeometría, poderemos obter diferentes tipos de perfil de fluxo (Taylor et al., 1995; Widmer et al., 2021). Deste xeito podemos distinguir dous grandes tipos de fluxo, o laminar e o turbulento.

3.2.1. Fluxo laminar

O fluxo laminar caracterízase por un gradiente de velocidades uniforme e continuo, cun rango de frecuencias estreito, e coas liñas de corrente do fluxo lineais e aliñadas. Dentro deste primeiro grupo podemos distinguir (Taylor et al., 1995; Mattoon and Berry, 2021; Widmer et al., 2021):

- a) Tapón: a velocidade é máxima e case homoxénea en todo o vaso. Característico dos vasos máis grandes como a aorta. Obtemos un trazo fino indicativo de que a maioría do sangue viaxa a unha gama de velocidades reducida, reflectindo claramente as variacións pulsátiles asociadas ó corazón ou á respiración, así como as variacións da flexibilidade e resistencia dos vasos (*compliance* –esta característica dos vasos permite obter o fluxo parabólico diastólico continuo entre as sístoles por almacenamento da enerxía e volume sanguíneo asociado á

distensibilidade das paredes arteriais). Descríbese unha xanela espectral característica. No caso dos vasos arteriais a diferenza sístole-diástole é moi salientable, con velocidades telediastólicas moi reducidas, en especial caudalmente ás arterias renais que serven de amortecemento, incluso con refluxo na diástole temperá. Unicamente o sangue que viaxa pegado á parede do vaso presentará redución significativa da velocidade, asociada á viscosidade do fluído.

- b) Mitigado: a velocidade máxima no centro do vaso redúcese de forma progresiva cara á periferia do vaso. Característico dos vasos de menor calibre ramificados da aorta coma a arteria celíaca, mesentérica cranial ou arterias renais. A **xanela espectral** é xa moi pequena pero perceptible. O fluxo diastólico é progresivo despois dunha sístole aínda marcada.
- c) Parabólico: o espectro de velocidades, entre a máxima do centro do vaso e a periferia próxima a 0, é continuo sen presenza de xanela espectral. Este tipo de fluxo é o correspondente a todos aqueles vasos parenquimatosos (intrarrenais, hepáticos, prostáticos, encefálicos, glandulares, etc.) e próximos á circulación terminal. Caracterízase por ter unha diferenza sístole-diástole moi pequena, cun fluxo diastólico continuo que é o que lle da funcionalidade ó órgano.

No sistema arterial, o cambio de tipo de fluxo prodúcese lentamente, a medida que nos imos afastando do corazón e chegamos ós capilares periféricos onde a velocidade sanguínea cae ó máximo. A pulsatilidade do corazón tamén se vai mitigando progresivamente. Esta pulsatilidade está influenciada pola resistencia que exhibe o leito vascular da arteria en estudo, polo tanto, analizando esta característica podemos obter información da impedancia vascular do órgano que irriga ese vaso arterial observando os cambios nos seus parámetros de resistencia (IP e IR por exemplo) (Scoutt and Taylor, 1999).

Nos vasos venosos temos en condicións normais fluxos de tipo laminar, con pulsatilidade asociada ó ciclo cardíaco no casos dos vasos do sistema venoso sistémico próximos ó corazón. A contractilidade e pulsatilidade do ciclo cardíaco xera ondas na sístole auricular dereita, que son espalladas centrifugamente e visibles nas veas próximas, pola ausencia de válvulas que impidan este refluxo. Estes cambios poden ser observados na pulsatilidade da vea cava caudal e nas veas hepáticas a nivel intrahepático de humanos, cans e gatos (d'Anjou and Penninck, 2015b; Larson et al., 2021). Outra fonte de variabilidade do fluxo venoso vén dada pola variación na presión nas cavidades asociada á respiración (Lamb and Mahoney, 1994). O efecto bomba que fan os músculos sobre as veas periféricas axuda a mobilizar o sangue venoso cara ao corazón. As velocidades en xeral son baixas no sistema venoso, polo que o fluxo é moi continuo con pouca aceleración e desaceleración en condicións normais, cunha pequena xanela espectral.

3.2.2. Fluxo turbulento

O fluxo turbulento ten 4 características Doppler propias: unha velocidade aumentada, amplo rango de frecuencias Doppler, un fluxo simultáneo cara a adiante e cara a atrás (fluxo rotatorio), e flutuacións da velocidade do fluxo co tempo (**Figura 10**). Estas variacións tradúcense nun espectro heteroxéneo no Doppler pulsátil, con sinais por riba e por baixo da liña basal, con picos variables de velocidade máxima. De xeito normal atopamos fluxo turbulento nos **cambios anatómicos abruptos** da dirección do fluxo, como por exemplo nunha ramificación arterial nun ángulo moi pechado (p.ex. na arteria renal do can), ou polo cambio de tamaño nas diferentes ramas, que xeran cambios de presión dentro do vaso (Scoutt and Taylor, 1999).

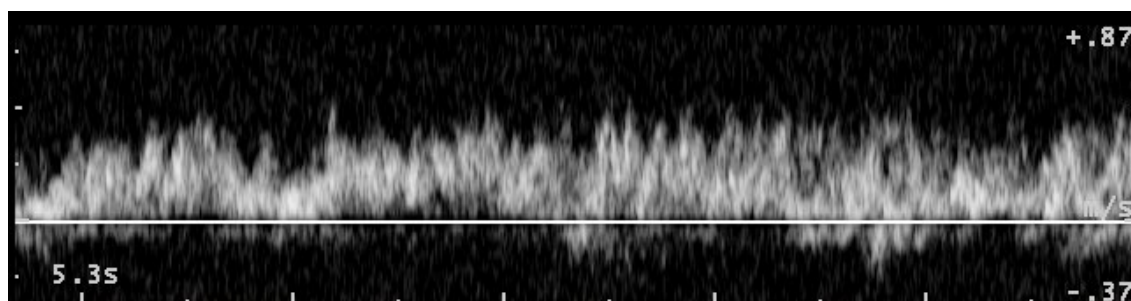


Figura 10. Fluxo turbulento característico obtido da vea porta dunha vaca adulta san.

Ó valorar o fluxo dun fluído debemos ter en conta a súa densidade, a velocidade, a presión e as dimensións do vaso por onde pasa este fluído, posto que a variación nalgún destes parámetros pode facer que o fluxo pase de laminar a turbulento. A relación matemática que resume estes factores é o chamado **número de Reynold** (Re) (Taylor et al., 1995) que relaciona a forza de inercia respecto da forza debida á viscosidade do fluído. Osborne Reynold demostrou que a velocidade dun fluído a través dun vaso depende do seu diámetro e da súa viscosidade:

$$Re = (densidade \times V \times diámetro \text{ do vaso}) / viscosidade$$

Os valores de Re varían dun sistema de fluídos a outro, obtendo un rango de valores característicos para o fluxo laminar, de transición, ou para o turbulento. En condicións normais o valor de Re do sangue para un fluxo laminar é menor a 2.000. Entre 2.000 e 4.000 teríamos a zona de transición, e a partir de 4.000 indica un fluxo turbulento claro (Taylor et al., 1995). Outros autores indican que un valor de $Re > 200$ nas ramificacións xa é indicativo de turbulencia, así coma un valor superior a 1.000 nos vasos rectos e lisos. Un incremento na velocidade, no diámetro ou na densidade do fluído, ou ben un descenso na viscosidade, incrementará o valor de Re. Este tipo de condicións prodúcese en

cambios anatómicos de xeito normal, e en patoloxías coma sepsis, estenoses, vasculites, anemias, etc. (Taylor et al., 1995).

3.3. PECULIARIDADES TÉCNICAS DA ECOGRAFÍA DOPPLER

Como foi exposto no apartado 3.1 para obter espectros de velocidade o máis axustados á realidade, teremos que tratar de explorar os vasos cun ángulo de insonación menor a 60° e o máis próximo a 0° , en especial cando precisamos cuantificar en valores absolutos o fluxo sanguíneo.

A ecografía Doppler é moi sensible e produce unha plétora de artefactos en relación á ecografía en modo-B. Por mor disto, para obter un boa imaxe e poder cuantificar os fluxos sanguíneos, a preparación do paciente e unha boa transmisión dos ultrasóns é fundamental. Un dos artefactos máis importantes que cabe ter en conta é o **aliasing** ou erro da mostra por falta dunha axeitada escala de valores aplicada ás velocidades reais obtidas (cando a frecuencia ou velocidade do sangue é superior ó dobre da frecuencia utilizada –PRF, *Pulse Repetition Frequency*–, tamén chamado **límite Nyquist**). No Doppler color este artefacto represéntase como unha mestura de cores, mentres que no Doppler espectral amósase como un trazo que aparece no lado contrario do espectro (**Figura 11**).

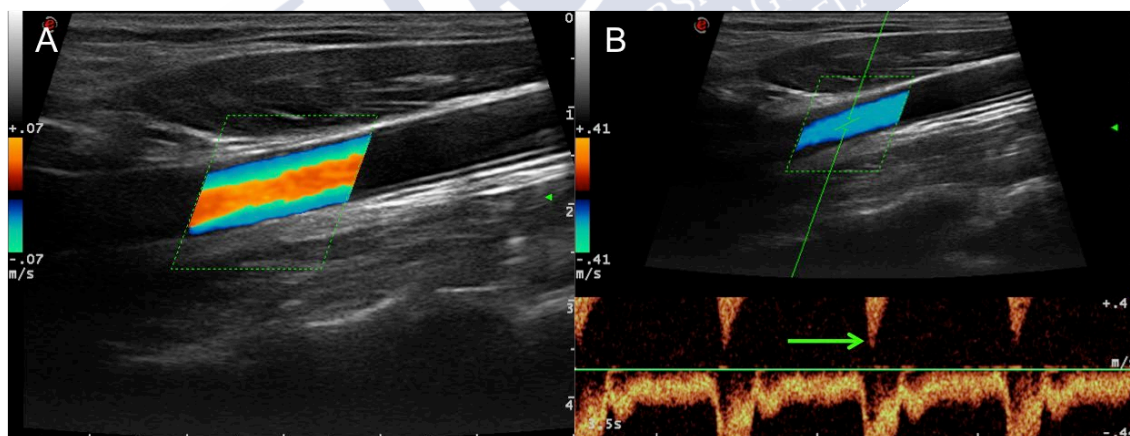


Figura 11. Artefacto de *aliasing* en Doppler color (A) e nun trazo de Doppler espectral (B). A deslocalización do pico sistólico aparece de forma invertida na parte contraria do espectro (frecha verde).

Para evitar este artefacto podemos modificar polo tanto a escala de valores aplicada ó fluxo (mediante a modificación do PRF), así como a liña base (onde situamos a velocidade = 0) ou ben baixar a frecuencia de emisión dos ultrasóns para optimizar esta escala nunha ou noutra dirección (Lamb and Mahoney, 1994; Taylor et al., 1995; Blond and Buczinski, 2009; d'Anjou and Penninck, 2015b; Mattoon and Berry, 2021). Do mesmo xeito que na ecografía en modo B, a frecuencia de emisión usada tamén condiciona a profundidade/capacidade de penetración onde podemos obter un bo sinal Doppler, polo que debe estar axustada á localización do vaso de interese. Normalmente a frecuencia usada na ecografía Doppler é lixeiramente inferior ó modo B. O espectro de velocidades que poderá medir un ou outro transdutor dependerá da súa frecuencia de traballo, polo que cun ecógrafo de baixa frecuencia será moi difícil detectar pequenos fluxos, mentres que cun ecógrafo de alta frecuencia seremos incapaces de obter sinal Doppler a grandes profundidades ou en fluxos de alta velocidade.

Outros artefactos da ecografía Doppler prodúcese por movemento do paciente (*clutter*), erros no ángulo de insonación (ausencia de sinal por ángulos de 90°), pseudofluxo (en fluídos sen movemento significativo como a urina), etc. que dificultan a valoración do fluxo sanguíneo de xeito significativo cando non aplicamos unha boa técnica ou non hai colaboración do animal.

3.4. CÁLCULOS/PARÁMETROS OBTIDOS NA ECOGRAFÍA DOPPLER

O Doppler color é comunmente usado para detectar fluxo e guiar onde colocar a xanela de mostra para obter o espectro de velocidades dun xeito visual, polo que non serve para valorar cuantitativamente o fluxo sanguíneo. Considérase por tanto un **método cualitativo** que aporta información visual sobre a direccionalidade e unha estimación da cantidade de fluxo en base á intensidade do sinal (Taylor et al., 1995; Blond and Buczinski, 2009; Bushberg et al., 2012).

Para a caracterización do fluxo precisamos os modos espectrais, que permiten cuantificar a cantidade de sangue que atravesa un vaso determinado, así como saber se este fluxo é de alta ou baixa impedancia vascular, en función do órgano ou sistema corporal que drene; indicando se o espectro obtido é amplo ou reducido, regular (existencia de xanela espectral), a súa direccionalidade (homoxénea, fásica, etc.) así como a súa pulsatilidade e outras causas de variabilidade no tempo (p.ex. respiración) (Bushberg et al., 2012).

3.4.1. Métodos cuantitativos

A metodoloxía para cuantificar e caracterizar o fluxo sanguíneo pode facerse dun xeito automático, que fai o propio ecógrafo en tempo real, ou ben facelo de xeito manual. A vantaxe fundamental dun cálculo automático é que o programa informático asociado

pode establecer dunha maneira fiable as frecuencias medias e máximas, posto que ten acceso a todo o espectro de velocidades rexistradas, sendo estas as de maior interese clínico. O problema fundamental do uso automático é que o programa en moitos casos non discrimina entre o ruído e o sinal Doppler real (Taylor et al., 1995). Por este motivo, os sistemas automáticos só funcionan en condicións ideais pouco frecuentes na clínica veterinaria diaria. Este método de cálculo, chamado **método de insonación uniforme** (Lamb and Mahoney, 1994; Taylor et al., 1995), debe ir aparelado coa obtención do espectro completo de frecuencias Doppler do vaso en estudo, isto quere dicir que o volume da mostra Doppler ten que incluír todo o vaso para non subestimar ou sobreestimar a media dos valores, presentando un gran problema cando os vasos están aliñados respecto do feixe de ultrasóns (ángulos de insonación pequenos implican, en función do tamaño do vaso, un gran volume da mostra para incluír todo o vaso, é dicir, incluír as menores velocidades). Temos que ter en conta que as xanelas da mostra Doppler pulsátil normalmente teñen un tamaño de 2 a 8 mm, polo que aqueles vasos de maior calibre dificilmente poderán ser avaliados correctamente cun método de insonación uniforme en ángulos de insonación pequenos, mentres que os vasos pequenos, como as arterias segmentarias ou arciformes do ril, poden ser avaliados con este método. Do mesmo xeito, este método non pode ser usado para fluxos turbulentos posto que non se trata dun fluxo uniforme, como presupón de xeito matemático esta metodoloxía. Para utilizar este método é aconsellable usar unicamente aqueles vasos cun ángulo de insonación entre 30° e 60° (Taylor et al., 1995; Bushberg et al., 2012).

Método de perfil de velocidades asumido. Os sistemas semiautomáticos ou manuais están baseados na realización dun trazo sobre o perfil espectral de velocidade máxima (método de velocidade máxima (Lamb and Mahoney, 1994). No modo semiautomático, o clínico indícalle ó programa unicamente de onde a onde ten que medir o perfil (por exemplo, marcando o inicio e final do ciclo cardíaco nun fluxo arterial), debuxando e obtendo os valores numéricos o software ecográfico. No modo manual a marcase do perfil faina a persoa interesada. Para obter a media das frecuencias por estes métodos usamos un factor xeométrico de corrección igual a 0.57, que establece unha estimación dos valores medios (velocidade media = V_m), posto que para un fluxo parabólico a velocidade máxima no centro do vaso é aproximadamente o dobre que a velocidade media (Taylor et al., 1995). Este método de insonación tende a infravalorar o fluxo, aínda que un estudo comparativo realizado por Lamb e colaboradores (Lamb and Mahoney, 1994), sobre o fluxo portal en cans sans, aplicando as tres metodoloxías anteriormente citadas, concluíu que tódolos datos obtidos eran válidos, pero que o método de insonación uniforme era o aconsellado, aínda que presentaba os problemas anteriormente descritos. Naqueles vasos onde o fluxo non é parabólico este método ten

unha validez limitada, posto que a velocidade media non ten unha relación predicible coa velocidade máxima.

Para localizar o punto óptimo onde valorar o fluxo, establécese que na imaxe en modo B deberíamos ser capaces de ver un mínimo de 2 cm da lonxitude do vaso que queremos valorar para poder corrixir correctamente o ángulo de insonación. Isto supón un problema con aqueles vasos de percorrido tortuoso.

Así mesmo, recoméndase obter de 4 a 6 segundos de fluxo, ou ben un mínimo de 3-5 ciclos arteriais para a súa medición, verificando que o espectro é repetible e constante, e dese xeito obter un valor medio (Lamb and Mahoney, 1994; Taylor et al., 1995; Novellas et al., 2007).

Unha vez obtido o trazo espectral mediante os diferentes métodos, obtemos de xeito numérico distintos parámetros: velocidade máxima (V_{max} , que corresponderá co pico sistólico en fluxo arterial = V_p), mínima (V_{min} , coincidente no fluxo arterial coa velocidade ó final da diástole = V_d) e media (V_m). Coa V_m podemos calcular a *taxa de fluxo* multiplicando esta V_m pola área transversal do vaso problema, cun resultado normalmente expresado en ml/min. Para unha correlación independente do tamaño do paciente, normalmente corríxese este valor polo peso do animal (ml/min/kg). En grandes animais tamén foron usadas unidades maiores (L/min, L/hr e L/hr/kg) debido ó gran volume sanguíneo valorado (Starke et al., 2011; Braun and Forster, 2012; Hart et al., 2018).

3.4.2. Métodos semicuantitativos. Índices arteriais

Para evitar os problemas da valoración total do espectro de velocidades, dependente do ángulo de insonación e o seu erro implícito no cálculo da velocidade en termos absolutos, descríbense diferentes índices comparativos entre as frecuencias Doppler. No caso do fluxo arterial, utilizamos os chamados **índices de resistencia** ou **resistividade** para valorar a impedancia ou resistencia do fluxo sanguíneo no leito vascular distal. Os índices máis frecuentemente usados son o índice de pulsatilidade ($IP = [(V_p - V_d)/V_m]$) e o índice de resistencia ($IR = [(V_p - V_d)/V_d]$) (Taylor et al., 1995).

Todas estas metodoloxías son aplicables facilmente nos fluxos laminares, porén, o fluxo turbulento é moi difícil de caracterizar de xeito cuantitativo, polo que na bibliografía encontramos diferentes parámetros para a súa caracterización, como son a velocidade máxima (V_{max}), a velocidade media (V_m), a velocidade inversa máxima (V_{rev}), o fluxo (F) ou a súa aparente pulsatilidade (Braun et al., 2009, 2013; Starke et al., 2011; Hart et al., 2018).

4. XUSTIFICACIÓN E PERFIL DA TESE

O coñecemento da fisiopatoloxía de órganos e sistemas é fundamental para a clínica veterinaria, e a súa valoración ante técnicas non invasivas como a ecografía supón unha gran vantaxe para o clínico de campo de cara a unha pronta diagnose que permita un correcto manexo do caso clínico. A pesar de ser un ferramenta de diagnóstico individual, os achados obtidos poden dar información sobre a saúde da granxa en xeral, polo que son útiles de cara a un manexo de rabaño, tan demandado na veterinaria de vacún de leite nestes tempos.

A información referente á patoloxía da glándula adrenal *premortem* é a día de hoxe apenas existente, mentres que os estudos *postmortem* indican a presenza de múltiples anomalías (hiperplasia, neoplasia a atrofia) que cun bo exame ecográfico poderían ser diagnosticadas. A súa valoración no exame ecográfico é unha actividade cotiá en pequenos animais, e podería facerse igualmente no gando vacún unha vez desenvolvido un protocolo axeitado para a súa valoración.

Coa exploración en modo-B do fígado e riles é doado avaliar moitas das súas patoloxías, pero a valoración do fluxo sanguíneo mediante a ecografía Doppler permitiría estimar a súa funcionalidade, especialmente naqueles casos onde a imaxe non é esclarecedora. A obtención dos parámetros fisiolóxicos supón a base para a futura valoración de factores de variación, así como dos efectos das diferentes patoloxías na funcionalidade destes órganos.

A presente tese de doutoramento é un traballo que pretende afondar no coñecemento da ecografía abdominal na vaca leiteira adulta, establecendo a anatomía ecográfica normal das glándulas adrenais, e os protocolos da exploración Doppler do fluxo sanguíneo hepático e renal en vacas frisoas non lactantes nin xestantes, o que permitirá asentar as bases de futuros estudos.



OBXECTIVOS

OBXECTIVOS

O obxectivo xeral desta tese de doutoramento é afondar nas bases da ecografía transabdominal da vaca adulta de raza Frisoa, como máximo expoñente da produción leiteira internacional, que sirvan de referencia para o estudo das diferentes patoloxías que afectan ás glándulas adrenais, parénquima hepático e renal. E para iso, plantexamos os seguintes obxectivos concretos:

1. Determinar as características normais do fluxo sanguíneo portal e hepático en vacas leiteiras como base para futuras caracterizacións das diferentes variacións fisiolóxicas e patoloxías, así como estandarizar un protocolo Doppler ecográfico coma en outras especies.
2. Estandarizar un protocolo Doppler ecográfico en vacas Frisoas adultas e fornecer uns valores de referencia para o índice de resistencia (IR) e índice de pulsatilidade (IP) renal. Asemade propoñer uns valores de corte baseados nestes resultados, que sirvan ós clínicos e investigadores distinguir aqueles riles normais ou enfermos, coma en humanos, cans e gatos.
3. Proporcionar un protocolo e valores preliminares de referencia para a exploración ecográfica estándar das glándulas adrenais nas vacas.



CAPÍTULOS

TRABALLOS PUBLICADOS

Capítulo 1. Traballo publicado 1

Barreiro-Vázquez JD, Miranda M, Barreiro-Vilanova MI, Diéguez FJ, Barreiro-Lois A. Characterization of the Normal Portal and Hepatic Blood Flow of Adult Holstein-Friesian Cows. *Animals* 2019, 9, 386; doi:10.3390/ani9060386

- Current Impact Factor: 2.323, JCR 2019 category rank: 14/142 (Q1) 'Veterinary Sciences' Citas: 3
- O doutorando foi o responsable principal do desenvolvemento do traballo experimental e redacción do artigo. Pódese consultar no propio artigo a contribución dos autores.

Enlace do artigo:

<https://doi.org/10.3390/ani9060386>

Capítulo 2. Traballo publicado 2

Barreiro-Vázquez JD, Miranda M, Barreiro-Lois A. Transabdominal Renal Doppler Ultrasound in Healthy Adult Holstein-Friesian Cows: A Pilot Study. Animals 2021, 11, 63. doi:10.3390/ani11010063

- Current Impact Factor: 2.323, JCR 2019 category rank: 14/142 (Q1) 'Veterinary Sciences' Citas: 0
- O doutorando foi o responsable principal do desenvolvemento do traballo experimental e redacción do artigo. Pódese consultar no propio artigo a contribución dos autores.

Enlace do artigo:

<https://doi.org/10.3390/ani11010063>

Capítulo 3. Traballo publicado 3

Barreiro-Vázquez JD, Barreiro-Lois A, Miranda M. Ultrasonography of Normal Adrenal Glands in Adult Holstein–Friesian Cows: A Pilot Study. . Animals 2020, 10, 1171; doi:10.3390/ani10071171

- Current Impact Factor: 2.323, JCR 2019 category rank: 14/142 (Q1) 'Veterinary Sciences' Citas: 1

O doutorando foi o responsable principal do desenvolvemento do traballo experimental e redacción do artigo. Pódese consultar no propio artigo a contribución dos autores.

Enlace do artigo:

<https://doi.org/10.3390/ani10071171>



DISCUSIÓN XERAL

DISCUSIÓN XERAL

Os animais utilizados no presente traballo foron vacas adultas (rango idade 3 a 11 anos) de raza Frisoa, non lactantes nin xestantes. Neste estudo exclúense os animais novos onde é factible atopar variacións tanto na imaxe adrenal coma nos fluxos de fígado e ril, a semellanza do que acontece noutras especies domésticas. No tocante ó peso a variación foi dependente do tamaño xeral do animal (413 a 680 kg) posto que todas as vacas tiñan unha condición corporal similar, entorno a 2-2.5 puntos segundo a escala 1-5 (Edmonson et al., 1989). A condición corporal non foi incluída como factor de variación neste estudo xa que foi moi homoxénea, pero sería interesante incorporala en futuros estudos, tanto en animais adultos como en animais novos (neonatos a 2 anos).

1. ECOGRAFÍA EN MODO B

A ecografía transabdominal é unha ferramenta diagnóstica clave na clínica de moitas especies (d'Anjou and Penninck, 2015a, b; Mattoon and Berry, 2021) incluída a clínica bovina (Buczinski, 2009a, 2016). Como se reflicte na bibliografía, e se corrobora neste traballo de investigación, na vaca frisoa é posible realizar unha boa avaliación ecográfica do abdome, xa que en condicións normais presenta pouca cantidade de graxa parietal e abdominal. Sen embargo, polas características da súa pel é necesario unha preparación rigorosa mediante rasurado e limpeza, que será fundamental para a transmisión dos ultrasóns e polo tanto para obter unha boa calidade de imaxe.

Na clínica de gando vacún a exploración ecográfica dos diferentes sistemas orgánicos (gastrointestinal, respiratorio, musculoesquelético, etc.) é de grande axuda pois complementa a exploración física e laboratorial, xa que as patoloxías que afectan a estes órganos poden producir sintomatoloxía pouco específica e mal valorada ca exploración física e/ou probas diagnósticas como a análise sanguínea (Streeter and Step, 2007). Na bibliografía dos últimos vinte anos temos moitas referencias á ecografía en modo-B tanto normal como patolóxica de diferentes órganos e sistemas coma o pulmón (Babkine and Blond, 2009; Ollivett and Buczinski, 2016), o tracto dixestivo -tanto en vacas adultas (Streeter and Step, 2007; Braun, 2009a, b), coma en animais novos (Braun, 2016)-, o

fígado (Braun, 2009b, 2016), o sistema urinario (Braun, 1991, 1993; Floeck, 2009), ou cardiovascular (Streeter and Step, 2007; Mitchell and Schwarzwald, 2016), etc. Porén inda non foi descrita na bibliografía científica a imaxe ecográfica normal das glándulas adrenais en bovinos, tan coñecidas noutras especies domésticas coma nos cans ou gatos (d'Anjou and Penninck, 2015b; Neelis et al., 2021), a pesar da súa grande influencia no nivel de produción do gando leiteiro.

A disposición anatómica das estruturas abdominais na vaca é de gran relevancia para a exploración ecográfica, xa que a presenza do rume no lado esquerdo dificulta o exploración desde ese lado, mentres que desde o lado dereito dispoñemos dunha xanela ecográfica que nos permite valorar nun espazo “reducido” unha parte salientable dos órganos parenquimatosos do abdome na vaca adulta, como son o fígado, os riles e as glándulas adrenais. O protocolo descrito na bibliografía (Pusterla and Braun, 1997; Braun, 2009a, b; Floeck, 2009) para a exploración dos riles, páncreas, fígado, así como das diferentes partes do sistema gastrointestinal, utiliza fundamentalmente o plano transversal cando se explora o paciente a través dos espazos intercostais, mentres que cando a exploración se realiza desde o flanco, empregamos tanto o plano transversal como o dorsal e os oblicuos. No noso estudo comprobamos que, a pesar das dificultades para asentar o transdutor (cunha grande pegada no caso das sondas convexas) nun pequeno espazo intercostal (EIC), é tamén posible obter cortes oblicuos ou mesmo dorsais cun bo aliñamento do feixe de ultrasóns respecto das diferentes estruturas.

1.1. FÍGADO

Na exploración ecográfica o fígado foi visible dende o flanco ate o 8º EIC, salvo nalgún caso onde o seu tamaño, o gas intestinal e/ou a conformación fixeron que só fora visible a partires do 11º EIC. A valoración da ecotextura e arquitectura hepática é sinxela, presentando unha ecoxenicidade semellante ou lixeiramente hiperecoxénica á da cortical renal, como ocorre en pequenos animais (d'Anjou and Penninck, 2015a; Larson et al., 2021) e tal como figura na bibliografía correspondente (Braun, 2009b; Floeck, 2009). Tanto no corte transversal, como en cortes dorsais/ lonxitudinais no flanco e no derradeiro EIC, obtemos unha boa imaxe comparativa entre o fígado e o ril dereito, ca glándula adrenal dereita situada nun pequeno espazo entre estes órganos e a vea cava caudal. Sendo útil esta abordaxe para valorar a correlación da ecoxenicidade relativa destas tres estruturas.

Exploramos o fígado en sentido dorsoventral, tanto no flanco como nos diferentes espazos intercostais, para valorar o seu tamaño (medindo o seu espesor máximo, así como a súa extensión ventral respecto da liña media dorsal do animal), a ecotextura e a ecoxenicidade (relativa ó ril dereito como se ten descrito nos parágrafos previos). Dada a

súa disposición e conformación a diferenciación das diferentes estruturas vasculares tanto intrahepáticas como extrahepáticas é sinxela, xa que o sistema porta é ventrolateral ó sistema venoso hepático. cunha vea porta curta pero de gran calibre. Do tronco común da vea porta saen multitude de pequenos vasos en diferentes direccións, as ramas “estreladas”, correspondentes ós lobos dereito e caudado, e unha rama grosa de dirección craneoventral, a rama portal esquerda, para o resto do parénquima (Shirai et al., 2005; Braun, 2009b). A ausencia de lobulación do fígado bovino fai complicado diferenciar os diferentes lobos en base á súa anatomía, inclusive ca axuda das ramas portais, posto que, salvo a rama esquerda, as restantes teñen unhas características pouco diferenciadoras.

As dimensións, forma e localización da vea porta e cava caudal están ben referenciadas en estudos previos.

Tal como se recolle na bibliografía consultada, as indicacións e usos para a ecografía en modo B no animal adulto son: diagnóstico de abscesos hepáticos, fasciolose, neoplasias, hepatopatía conxestiva, seneciose, enfermidade hepática difusa e fígado graxo, así como valorar as causas de ascite xerada por afeccións nas veas cava caudal ou porta (Streeter and Step, 2007; Braun, 2009b, 2016; Starke et al., 2012).

1.2. RILES

Na bibliografía consultada atopamos a descripción ecográfica de ambos riles realizada mediante ecografía transrectal en vacas de pequeno tamaño (Ozturk et al., 2005), e por vía transabdominal, especialmente para o ril dereito, en todo tipo de morfotipos raciais (Floek, 2009). O ril esquerdo é sempre accesible vía transrectal con transdutores de alta frecuencia, coa consecuente mellora da imaxe en modo B, mentres que para a exploración transabdominal é preciso o uso de media-baixa frecuencia (3,5-5 MHz) para unha boa penetración do feixe de ultrasóns. A calidade de imaxe consecuentemente é inferior na abordaxe transabdominal, tendo a maiores a interposición do gas intestinal cando queremos avaliar o ril esquerdo, o que fai que o número de animais onde é observable o ril esquerdo sexa baixo, tal como se reflicte na bibliografía (Floek, 2009) e neste traballo experimental (3/25 animais). No entanto, a ecografía transabdominal permite unha avaliación máis completa do ril que a transrectal, xa que é posible posicionar o transdutor en todos os eixes e acceder ó polo cranial sen as dificultades dunha abordaxe transrectal nas que o tamaño do animal e as dimensións do brazo do clínico determinan o límite cranial desta exploración. A manobra asistida descrita por Imran e Sharma (2014) na que un axudante despraza o ril esquerdo manualmente por vía transrectal até a parede abdominal dereita para poder ser visualizado ecográficamente vía transabdominal, ten demostrado ser de utilidade para mellorar a exploración

transabdominal do ril esquerdo. Porén esta manobra require dun asistente cualificado a maiores da persoa que realiza a ecografía, polo que resulta pouco realista en condicións normais de campo. Debemos ter en conta esta técnica en futuros estudos, valorando o efecto da xestación e doutros factores na mellora da visualización do ril esquerdo. Con manobra asistida ou non, a valoración da ecoxenicidade relativa do ril esquerdo semella ser difícil, posto que en ningún caso está situado preto do outro ril ou dunha estrutura parenquimatosa que permita comparalo.

Tendo en conta que nas vacas frisoas adultas, a localización de ambos riles tende a ser máis cranial que noutras razas (Ozturk et al., 2005), a súa avaliación ecográfica vía endorectal, especialmente con modo Doppler, está moi limitada no ril esquerdo e é imposible no ril dereito.

Do mesmo xeito, cómpre sinalar que a estimación das dimensións renais pode realizarse de forma consistente nos eixos transversais (dimensións dorsoventral e lateromedial), tanto vía transrectal como transabdominal, mentres que a dimensión craniocaudal, ou lonxitude máxima, excede en condicións normais a apertura máxima do transdutor; polo que sería preciso dispoñer dun software específico que permita avaliar correctamente esta dimensión. No actual estudo a lonxitude renal foi calculada en base á morfoloxía estimada dos riles na imaxe, obtendo valores menores que os reflectidos na bibliografía (Sisson, 1982; Floeck, 2009).

Na bibliografía existente foron descritas diferentes patoloxías que alteran o parénquima renal, como a nefrite embólica/ intersticial, pielonefrite, nefrose, glomerulonefrite, quistes, urolitiase ou uroperitoneo asociado a enfermidade renal (Braun et al., 2008; Floeck, 2009). Porén, nas alteracións difusas atopamos poucas características diferenciadoras na ecografía en modo-B debido á súa baixa especificidade (Tipisca et al., 2016; Bragato et al., 2017) como no caso das toxicoses, e das enfermidades inflamatorias ou infecciosas (Floeck, 2009). Por este motivo faise preciso un estudo complementario que axude a valorar a funcionalidade renal, como é a avaliación dos fluxos renais mediante ecografía Doppler.

1.3. GLÁNDULAS ADRENAIS

Ate o de agora, nas fontes bibliográficas dispoñibles non se atopou ningún protocolo válido para a exploración ecográfica das glándulas adrenais no gando vacún, sendo este traballo de investigación o primeiro no que se desenvolve un protocolo en animais sans. A avaliación ecográfica das glándulas adrenais na vaca permite caracterizalas facilmente, axiña e de maneira non invasiva, de xeito semellante ao que acontece en cans e gatos.

As glándulas adrenais, tal como figura nas referencias anatómicas revisadas (Barone, 2001; König and Liebich, 2005; Budras and Wünsche, 2011; Singh, 2018), gardan unha estreita relación anatómica cos grandes vasos abdominais. A posición anatómica destas glándulas, moi craniais no abdome vacún, non permiten en condicións normais a súa avaliación por vía transrectal, polo que a abordaxe transabdominal será de grande utilidade.

En ámbalas dúas adrenais, as marcas de referencia fiables para a súa localización baséanse nas marcas vasculares (aorta e vea cava caudal) coma en outras especies (d'Anjou and Penninck, 2015b; Neelis et al., 2021). Podemos afirmar que a abordaxe ecográfica máis útil para localizar a glándula esquerda é o corte dorsal dende o flanco, utilizando a vea cava caudal e a aorta como referencias anatómicas, coa axuda do ril dereito como xanela ecográfica. As grandes ramas da aorta abdominal, arteria celíaca e mesentérica cranial, marcan o límite cranial da glándula, como acontece en pequenos animais (d'Anjou and Penninck, 2015b; Neelis et al., 2021), sendo estas distinguíbles en función do volume de gas intestinal do animal. A glándula é alongada nos cortes ecográficos dorsais, cunha lonxitude máis variable ca glándula dereita, quizais polas dificultades para visualizala.

Para a glándula adrenal dereita o corte transversal é o máis útil, pola súa relación directa coas diferentes estruturas anexas (ril dereito, vea cava caudal e fígado), mostrando a súa característica forma de “L” ou alongada na meirande parte dos animais. A pesar de que para a súa abordaxe precisamos frecuencias de ultrasóns medias-baixas, as imaxes resultantes permitiron diferenciar en moitos casos as diferentes partes da glándula, polo que a estrutura adrenal puido ser avaliada observando unha cápsula hiperecoxénica, o córtex hipocoxénico e a medula ecóxénica. Noutros animais onde a estrutura non era discernible a glándula amosaba unha imaxe homoxénea, hipocoxénica respecto do fígado e da cortical renal. As características ecográficas da glándula adrenal esquerda, do mesmo xeito que as do ril esquerdo, son difíciles de valorar pola súa posición máis profunda e interposición de gas intestinal. Os vasos adrenais, polo seu pequeno calibre, non foron visualizados por falta de resolución. En tódolos animais avaliados, a glándula dereita foi atopada sen problemas. Na bibliografía de carácter anatómico descríbese esta glándula como unha estrutura con forma de corazón (Barone, 2001; König and Liebich, 2005; Budras and Wünsche, 2011; Singh, 2018). Ecograficamente esta silueta podería observarse no caso de obter planos dorsais da mesma, pero a orientación da sonda e a localización da glándula fan difícil obter este plano de corte en condicións normais.

Neste traballo de investigación para estimar o tamaño glandular medimos a dimensión que abrangue dende a cortical superficial á cortical profunda, en sentido lateromedial, non podendo realizar medidas consistentes individualizadas do córtex e da medula.

O espesor das glándulas considérase a medida máis representativa para avaliar o tamaño das glándulas en pequenos animais (d'Anjou and Penninck, 2015b; Bento et al., 2016; Neelis et al., 2021), posto que son medidas menos variables e menos influenciadas pola técnica do operador. No noso caso os espesores medios obtidos foron 1.39 ± 0.26 cm para a glándula dereita, e 1.36 ± 0.33 cm para a esquerda. Os valores do espesor das glándulas amosados nos nosos resultados foron significativamente superiores ós datos reflectidos na bibliografía, obtidos en espécimes postmortem de animais novos (Braun et al., 2019). Este parámetro é utilizado en pequenos animais para obter ratios comparativos coa aorta (Agut et al., 2019; Ghavidel et al., 2019), amortecendo o efecto do tamaño do animal nas medidas absolutas. Na vaca este ratio así como os valores absolutos deberán ser valorados en futuros estudos, tendo en conta diferentes factores de variación (raza, tipo de produción, factores de estrés, etc.) para avaliar a súa significación. Así mesmo, os valores de corte para o tamaño destas glándulas terán que ser definidos con grupos patolóxicos.

No gando vacún as patoloxías adrenais son coñecidas fundamentalmente a través de publicacións realizadas con animais postmortem, onde podemos observar a presenza de procesos inflamatorios ou infiltrativos, hiperplasias, depósitos de amiloide, quistes ou hemorraxias (Wright and Conner, 1968; Labelle and De Cock, 2005; Biasibetti et al., 2017), indicando que a avaliación ecográfica das glándulas adrenais *in vivo* pode ser de grande interese clínico. Nalgún estudio este tipo de alteracións modificaba as características macroscópicas da glándula, como peso ou volume (Blutke et al., 2015), mentres que noutros experimentos non se observou esta correlación (Braun et al., 2017). A pesar de non existir referencias de hiperadrenocorticismismo primario no gando vacún, coma o descrito en pequenos animais ou équidos, a hiperfuncionalidade adrenal foi estudada na vaca de xeito experimental (da Rosa and Wagner, 1981; Li and Wagner, 1983). Lambacher e Wittek (2015) sospeitaron da existencia de hipoadrenocorticismismo nun animal adulto, inda que non fan descripción ecográfica das glándulas adrenais (Lambacher and Wittek, 2015). De forma similar ao que acontece noutras especies animais, moitas das alteracións das glándulas adrenais poderían ser diagnosticadas en bovinos mediante ecografía, polo que nun futuro a aplicación deste protocolo de exploración fará que moitos destes problemas non pasen inadvertidos na clínica de gando vacún.

2. ECOGRAFÍA DOPPLER

Unha vez obtida a imaxe en modo-B das diferentes estruturas, a valoración dos fluxos sanguíneos, tanto arteriais como venosos, permite obter características funcionais moi salientables que melloran a capacidade diagnóstica do clínico. Esta exploración Doppler é

considerada como unha ferramenta avanzada, polo que obriga ó usuario a un coñecemento profundo da fisioloxía e anatomía vascular, do manexo do equipamento ecográfico, cos seus diferentes axustes para unha correcta valoración deste fluxo, así como da interpretación das imaxes cos posibles artefactos.

Sen unha boa transmisión dos ultrasóns non será posible obter un sinal Doppler suficiente como para poder ser medido, polo que a preparación do paciente como foi exposta na introducción deste traballo é capital. Unha vez localizado o punto de interese co modo Doppler color, para obter un bo espectro no modo pulsátil, cómpre axustar varios parámetros de xeito cotiá que o usuario debe coñecer e modificar segundo as necesidades puntuais:

- Ángulo de insonación, que como foi explicado supón a clave para a cuantificación total do fluxo (sempre menor a 60°).
- A frecuencia de repetición de pulso ou PRF (acrónimo en inglés) que axusta a escala de velocidades que temos que representar.
- A liña basal, que podemos desprazar en función das necesidades para optimizar a escala de valores anteriormente descrita.
- A potencia do feixe, que se axusta para evitar ter moito ruído ou pouco sinal.
- A frecuencia de emisión dos ultrasóns, que coma no modo B permite mellorar a penetración.

Todos estes axustes son precisos para obter un fluxo o máis real posible evitando os diferentes artefactos, en especial o *aliasing*, que imposibilita a realización de medidas reais.

Así mesmo, cando valoramos o espectro resultante debemos ter en conta os seguintes puntos:

- Para o cálculo da velocidade media do fluxo en termos absolutos, unha vez axustado o ángulo de insonación, teremos que aplicar un factor de corrección aritmético para que a estimación da velocidade media sexa o máis real posible cando utilicemos o método do perfil de velocidades máximas manual e semiautomático, mentres que non será preciso co método de insonación uniforme automático.
- Facer unha estimación correcta da área do vaso problema de cara o cálculo do volume de fluxo.
- Valorar se o fluxo é laminar ou turbulento.
- Calcular os índices de resistencia no caso de que exista pulsatilidade cardíaca. É o método indicado no fluxo arterial.

Podemos ver que a cuantificación da velocidade media, máxima e mínima, incluíndo aquelas en sentido contrario (velocidade máxima inversa), é realizada por diferentes autores para a caracterización dos fluxos, especialmente os venosos (Braun and Föhn, 2005; Braun et al., 2009, 2013; Starke et al., 2011). Porén, podemos observar que a metodoloxía utilizada nos diferentes estudos para a caracterización do fluxo sanguíneo non está correctamente aplicada, segundo as bases físicas da ecografía Doppler, ou ben falta información que nos permita facer unha interpretación correcta dos resultados obtidos (método de insonación utilizado, automático ou manual, aplicación de factor de corrección ou non). No noso estudo optamos polo método de perfil de velocidades máximas, xa que o método automático incluía moitos artefactos, e era especialmente difícil de aplicar co método de insonación uniforme na meirande parte dos vasos en estudo debido ó seu gran tamaño (Lamb and Mahoney, 1994; Taylor et al., 1995).

Para os fluxos pulsátiles de tipo arterial a sistemática xeral contempla a determinación das velocidades máximas no pico sistólico (V_p), media (V_m) e mínima correspondente ca fase final da diástole (V_d). Con estes datos calcúlanse os índices de resistencia así como outros factores menos frecuentes como a aceleración sistólica, a duración das distintas fases do ciclo cardíaco, etc (Braun and Föhn, 2005), do mesmo xeito que se fai en ecografía humana ou de pequenos animais e cabalos (Taylor et al., 1995; Novellas et al., 2007; Freccero et al., 2020).

A cuantificación do fluxo turbulento ten moitas dificultades tanto en ecografía humana como veterinaria. O método de insonación uniforme, como foi descrito na introdución, non é axeitado para vasos de fluxo turbulento, e especialmente en aqueles onde é difícil obter unha mostra de todo o vaso, sexa por un ángulo de insonación reducido e/ ou polo seu tamaño (Taylor et al., 1995). Polo tanto, as medidas máis obxectivas que podemos obter neste tipo de fluxo dun xeito semiautomático/ manual son a velocidade media (V_m), a velocidade máxima, tanto na dirección do fluxo coma no sentido contrario ($V_{m\acute{x}}$ e V_{rev}), así como o fluxo medio (F) en base á V_m obtida. Como sabemos, para obter a V_m respecto do perfil de velocidades máximas temos que aplicar o factor de corrección aritmético de 0.57, asignado de xeito experimental para fluxos de tipo laminar, polo que é de esperar que esta V_m non se corresponda exactamente co valor real no caso de fluxos de tipo turbulento. Sen embargo, é unha medida que, sen entrar en metodoloxías invasivas, podemos obter de xeito consistente. A variabilidade dos datos obtidos está influenciada por esta circunstancia.

Tanto na bibliografía consultada coma neste traballo a velocidade sanguínea exprésase en cm/s. Para cuantificar o volume de fluxo na bibliografía podemos atopar unidades que varían dende os ml/min en pequenos animais (d'Anjou and Penninck, 2015a; Mattoon and Berry, 2021), a cm³/s, l/min ou l/h en bovinos (Lomax and Baird, 1983; Braun and

Föhn, 2005; Starke et al., 2012; Braun et al., 2013; Hart et al., 2018), debido en parte á gran cantidade de sangue que atravesa os grandes vasos sanguíneos obxecto de estudo. No noso caso os resultados exprésanse en l/min ou en ml/min/kg cando temos en conta o peso do paciente.

2.1. FÍGADO

A exploración con ecografía Doppler do fígado na vaca adulta mediante unha abordaxe transcutánea é posible dende diferentes localizacións, dende o flanco até o 9º EIC, que variará en función do vaso concreto a avaliar, sexa do sistema venoso portal ou hepático. A presenza do gas pulmonar así como o pequeno calibre dos vasos máis distais fixeron imposible obter sinal Doppler nos puntos máis periféricos do fígado. Na bibliografía atopamos que a vea porta podémola explorar unicamente a través dos espazos intercostais 10º e 11º (Starke et al., 2011; Hart et al., 2018), mentres que os nosos resultados indican que o 12º EIC tamén pode ser utilizado para este fin. O maior número de medicións no 10º e 11º EIC indican que, de xeito coincidente, estes son os mellores puntos anatómicos para a súa valoración. As veas mesentérica cranial e esplénica, aferentes da vea porta, puideron avaliarse dende o flanco até o 10º EIC, sendo o 12º e 11º EIC os puntos con maior número de medidas válidas, e polo tanto, os máis idóneos para explorar estes vasos. As ramas portais e hepáticas distribuídas polo parénquima hepático puideron ser avaliadas dende o flanco até o 9º EIC, xa que chegan até as partes máis distais do fígado.

Para caracterizar correctamente o fluxo na vea porta, decidimos investigar o fluxo dos vasos aferentes principais (vea mesentérica cranial e esplénica) para valorar a aportación de cada un deles ó fluxo portal. Estes vasos son facilmente identificables ó conformaren unha imaxe en “T” invertida, que permite localizar e abordar cada un deles para realizar un exame Doppler adecuado. Para este estudo cómpre obter un plano craniocaudal oblicuo posto que os vasos presentan unha dirección craniocaudal que non é visible en cortes transversais puros aliñados co EIC. Esta proxección ten a eiva da interposición das costelas, que xeran sombra acústica e dificultan a obtención dun ángulo menor de 60º nos diferentes vasos, necesario para obter un bo trazo Doppler.

A dinámica de fluxo observada na vea esplénica e mesentérica cranial confirma que o tipo de fluxo no sistema porta é laminar sen oscilacións asociadas á pulsatilidade cardíaca. Os valores do número de Reynolds (Re) para a vea esplénica e mesentérica cranial son de 1.000 a 1.200 de media, indicando que o fluxo aquí medido é normalmente laminar constante, coas influencias respiratorias anteriormente indicadas. Por mor da disposición case frontal da confluencia das veas mesentérica cranial e esplénica (a devandita forma de “T” invertida observada en tódolos animais), e o gran cambio de calibre ó drenar na

vea porta, o fluxo laminar convértese en turbulento polo incremento marcado do número Re. Aplicando a fórmula do número Re, obtemos que para a vea porta o valor de Re é 3562.5 próximo ó valor de 4000 que temos como referencia para o fluxo turbulento (límite superior da zona de transición, Taylor et al., 1995). Este dato xa fora obtido en 1972 de forma invasiva (Wangsness and McGilliard, 1972).

Deste xeito, observamos unha variabilidade marcada da velocidade, con picos de fluxo tanto hepatópetos como hepatófugos propios do fluxo turbulento. A dificultade para avaliar numericamente este tipo de fluxo xa foi descrito anteriormente, polo que, tendo en conta os traballos previos doutros autores, optamos por medir o perfil de velocidades máximo, obtendo a $V_{m\acute{a}x}$ e V_m (esta última corrixida polo factor aritmético de 0.57), medindo independentemente os picos de fluxo inverso máximo descritos como V_{rev} . Nos resultados do noso traballo de investigación podemos apreciar como o fluxo da vea porta é o que maior turbulencia presenta, tanto visual como numericamente, caracterizándose pola diferenza entre V_m e $V_{m\acute{a}x}$, e a presenza de picos de V_{rev} maiores que no resto do sistema porta. A turbulencia unha vez producida, é transmitida na dirección do fluxo cara o interior do fígado, como está descrito na bibliografía (Scoutt and Taylor, 1999), sendo esta cada vez menor por efecto do amortecemento da onda. En ningún caso foi visible unha pulsatilidade asociada á actividade cardíaca como describira Starke e colaboradores (Starke et al., 2011). Esta suposta pulsatilidade do fluxo portal, análoga á observada en medicina humana (Erdogmus et al., 2008), levou a estes autores a propoñer un índice adimensional, de xeito análogo ós utilizados no fluxo arterial, observando en animais con fígado graxo unha redución nestes valores proporcional á gravidade da patoloxía (Starke et al., 2011). En base á nosa percepción, no trazo Doppler unicamente foron visibles as oscilacións propias do cambio de presión abdominal vinculadas á respiración, como as descritas en cans por Lamb and Mahoney (1994) e de xeito invasivo en vacas por Wangsness and McGilliard (1972). A profundidade e frecuencia da respiración facían oscilar en maior ou menor medida a onda do fluxo portal, como sucede en cans ou gatos (Mattoon and Berry, 2021). Polo tanto, a aplicación deste parámetro de pulsatilidade parece que non se axusta correctamente ó fluxo portal, pero pode explicarse no caso de fígado graxo por unha maior resistencia do parénquima hepático ó paso do sangue, xerando un menor gradiente de velocidade portal e, polo tanto, reducindo as velocidades máximas e as medias, aínda que estas últimas en menor medida.

No que se refire á **vea porta** o volume de fluxo da vea porta variou entre os 3.04 e os 21 l/min (182.4 e 1260 l/h), cun valor medio de 13 l/min (780 l/h), que entra dentro dos rangos descritos por outros autores: 603-840 l/h (Hart et al., 2018), e entre 515-1410 l/h (Lomax and Baird, 1983; Starke et al., 2011). Este valor cobrará máis sentido se temos en conta o peso do animal, facendo que o dato sexa máis consistente independentemente

do tamaño do animal. Así, o valor medio do volume de fluxo da vea porta en vacas leiteiras será de 25.5 ml/min/kg (rango: 18.9-34.2), sendo un valor fácil de calcular para o clínico de campo, posto que o ecógrafo proporciona valores de fluxo en ml/min e non en l/h como ven reflectido en diversas publicacións previas.

O volume aportado polas veas mesentérica cranial e esplénica en termos absolutos foi similar, indicando que as súas aportacións totais ó fluxo da vea porta en condicións normais son semellantes, aínda que de características diferentes posto que a velocidade era inferior na vea mesentérica cranial, que por contra tiña un diámetro maior, cun fluxo resultante de valores semellantes. A determinación das características do fluxo nas grandes veas tributarias da vea porta de forma independente, permitirá en futuros estudos valorar as flutuación en cada unha delas, ocasionadas por diferentes factores ou patoloxías (síndrome de Hofflund, enterite, ruminite, etc.).

A pesar das turbulencias atopadas no fluxo portal, a Vm calculada foi significativamente constante nuns valores próximos a 25 cm/s (rango 10.8-41.6, cun intervalo de confianza do 95% entre 21.8 e 30.8). Estes valores foron semellantes ós da vea esplénica, e superiores ós da vea mesentérica cranial. Ó profundizarmos nas ramas portais intrahepáticas tanto o volume coma a velocidade do fluxo ían diminuindo progresivamente, cunha redución tamén progresiva da turbulencia.

Para establecer un grupo homoxéneo que tivese o menor número de factores de influencia sobre a normalidade, decidimos estudar inicialmente animais non xestantes, sen lactación activa e sen patoloxías previas, cunha alimentación de mantemento basal, non dependente de pasto ou outros alimentos de composición variable coma o silo. Segundo estudos realizados en humanos e tamén en bóvidos existen diferentes factores que poderían alterar o fluxo portal (Lomax and Baird, 1983; Abu-Yousef, 1992), como serían a postura (cuadrípedos ou bípedos), a alimentación-dixestión, a actividade física, a idade ou a produción leiteira (Starke et al., 2011), que tamén afectaría ó fígado, variando o seu tamaño con relación ó peso corporal (Braun and Gerber, 1994). A variación inducida pola preñez no diámetro da vea porta (Braun and Gerber, 1994) é indicativo de que a modificación das presións abdominal e torácica altera de xeito sustancial a dinámica vascular portal e posiblemente tamén a hepática. A influencia do peso ou a idade dos animais foron tamén avaliados, pero comprobouse que non alteraban os datos de xeito significativo.

Vea cava caudal e veas hepáticas: a vea cava, ó ter unha localización máis dorsal que a vea porta, foi visualizada fundamentalmente no flanco e nos derradeiros espazos intercostais, cunha velocidade media entre os 13.7 e os 21.8 cm/s (media: 16.5-19.9). A abordaxe polo flanco permite obter un ángulo de insonación menor a 60° sen dificultade. A pesar de ter unha velocidade media estable, o volume de fluxo tivo unha gran variación

entre os 1.08 e 30.1 ml/min/kg (0.47 a 12.4), cunha media de 9.17-11.3 ml/min/kg (3.94-6.09), isto pode atribuírse a un posible erro na estimación da área do vaso. O diámetro obtido na imaxe en modo B, que é aplicado polo software do ecógrafo para calcular a área do vaso, resulta pouco axeitado, debido á forma triangular da vea cava a nivel do parénquima hepático (a nivel prehepático a súa forma é elíptica). Neste caso a determinación da área do vaso debera facerse de xeito manual en cortes perfectamente transversais nesa localización; mais esta abordaxe non é sempre posible posto que para obter unha imaxe transversal da vea cava caudal teríamos que obter dúas imaxes independentes a diferentes niveis respecto do punto onde foi medido o fluxo. En futuros estudos sería interesante avaliar a consistencia destas medidas.

O fluxo inverso na vea cava caudal tan só foi observado de xeito ocasional en tres animais, indicando que a pulsatilidade cardíaca transmitida retrógradamente non é visualizada de xeito cotiá. Polo tanto, que esta pulsatilidade sexa transferida ó sistema porta é moi pouco probable en condicións normais. O fluxo atopado en todo o sistema hepático é de tipo laminar coas fluctuacións respiratorias anteriormente citadas para o fluxo portal.

As ramas hepáticas da vea cava caudal presentan unha certa variabilidade anatómica (Shirai et al., 2005) pero a análise Doppler cun fluxo hepatófugo laminar, e a súa unión coa vea cava, máis dorsomedial que a vea porta, fan que sexan identificables facilmente, permitindo ángulos de insonación próximos a 0° en moitos casos. Podémolas atopar con abordaxes dende o flanco ate o 9º EIC, pero especialmente entre o 10º e o 12º EIC. Igual que ocorrera nas ramas portais, a súa velocidade e volume de fluxo diminúe a medida que nos achegamos á periferia do fígado, observando unha Vm semellante entre estes.

2.2. RILES

A exploración en modo Doppler do fluxo arterial renal vía transabdominal foi posible e consistente, obtendo valores tanto de índice de pulsatilidade (IP) como índice de resistividade (IR) semellantes ós doutras especies en condicións de normalidade, sen aparentes diferenzas entre riles dereito e esquerdo. Estes valores permiten facer unha valoración funcional do parénquima renal, especialmente naquelas situacións onde as alteracións detectadas nas imaxes obtidas en modo B son poucas ou inexistentes, aínda que inicialmente as modificacións destes valores non sexan específicos de patoloxía algunha. É de sinalar que a determinación dos índices renais pode ser unha ferramenta de grande interese na clínica de gando vacún pola dificultade que presenta nesta especie a interpretación dos valores séricos de creatinina e urea, asociados tipicamente á insuficiencia renal, ó estar o nivel de urea influenciado polo metabolismo ruminal (Floek, 2009).

Os índices de resistencia obtidos na arteria renal e nas arterias segmentarias permite estimar cunhas poucas medidas a resistencia xeral do parénquima renal. A anatomía propia do ril bovino, cunha única arteria renal que xera dúas grandes arterias segmentarias en sentido craniocaudal (Szymanski et al., 2018), axuda a distinguir apropiadamente estes vasos para a súa exploración Doppler. Neste traballo de investigación a detección do hilo renal foi posible tanto en cortes transversais como dorsais, axustando o plano de corte individualmente en cada caso. A exploración destes vasos mediante o modo Doppler color permitiu distinguilos e obter facilmente ángulos de insonación menores a 60°.

Porén, as medidas tomadas lonxe da periferia do ril poden non reflectir cambios na resistencia renal por mor do amortecemento do fluxo na rede vascular distal (Ostrowska et al., 2016), e en moitos casos patolóxicos os valores poden ser semellantes ós atopados en condicións de normalidade, como ocorre en gatos persas (Carvalho and Chammas, 2011) (Carvalho 2011) ou en humanos (Scoutt and Taylor, 1999).

O perfil de velocidade no Doppler espectral estaba caracterizado por un fluxo de baixa resistencia, diastólico continuo, con ondas sistólicas amplas e con certa irregularidade, asociado a unha posible turbulencia secundaria ó cambio anatómico xerado pola ramificación das arterias renais, así como pola diminución do diámetro dos vasos e o aumento da velocidade de fluxo, que incrementaban o número de Reynolds. A presenza dunha pequena xanela espectral foi indicativo de que o fluxo medido aínda non está na periferia da rede vascular renal, sendo as velocidades aínda altas.

A posibilidade de obter sinal do fluxo sanguíneo nos vasos pequenos da periferia renal como as arterias arcuatas ou arciformes pode ser factible mediante o uso de transdutores de alta frecuencia por vía transrectal (Ozturk et al., 2005). Porén a ecografía transabdominal, polo tamaño renal, a necesidade de atravesar a pel e a parede abdominal até chegares ó parénquima renal, precisa de transdutores de baixa frecuencia que non poden obter sinal destes vasos con velocidades de fluxo reducidas. A maiores, o movemento respiratorio despraza de xeito significativo o parénquima renal, polo que aqueles vasos de pequeno calibre son dificilmente explorables.

No noso caso o reducido número de exploracións que foi posible realizar no ril esquerdo non permiten chegar a unhas conclusións claras sobre a simetría do fluxo, aínda que é probable, en base ós resultados obtidos en humanos (Keogan et al., 1996; Ansarin et al., 2011) ou en cans (Novellas et al., 2007), gatos (Chang et al., 2010) e burros (Freccero et al., 2020) que estes sexan comparables. A diferenza entre ámbolos dous riles pode ser considerado un signo patolóxico segundo a bibliografía, aínda que en cabalos (Freccero et al., 2020) e gatos (Tipisca et al., 2016) encontráronse diferenzas en condicións normais.

Para podermos usar estes valores de resistencia na clínica cotiá e que teñan utilidade real, de forma similar ó que se fixo noutras especies, propoñemos uns valores de corte a partir dos cales sexa probable a existencia dunha patoloxía renal. No caso da vaca obtivemos un valor de corte para o IR igual a 0.63, e para o IP igual a 1.00, que a pesar de seren máis baixos que noutras especies, os valores medios foron semellantes ós descritos por Freccero et al. (2020) para cabalos. Futuros estudos deben confirmar a diferenza observable entre os diferentes estados patolóxicos e a fluxometría normal do ril na vaca adulta, así como as posibles variacións asociadas a diferentes factores como a idade (en xatos e neonatos), xestación, produción leiteira, presión arterial, etc. No tocante ó peso e á idade adulta, igual que ocorría co fluxo hepático, non atopamos influencia sobre o fluxo arterial renal.

En futuros estudos sería moi interesante correlacionar datos obtidos mediante fluxometría Doppler vía transrectal, cos valores de referencia reflectidos no presente traballo de investigación.





CONCLUSIÓN

CONCLUSIÓN

O presente traballo de investigación ven de demostrar que seguindo os protocolos que propoñemos para a avaliación ecográfica mediante unha abordaxe transcutánea polo hemiabdomen dereito da vaca adulta, logramos realizar unha avaliación completa do fluxo sanguíneo do fígado e dos riles mediante o modo Doppler color e pulsátil, e caracterizar as glándulas adrenais en modo B.

De xeito concreto podemos dicir que,

1. No caso do fígado, aplicando o protocolo Doppler proposto obtivemos valores de referencia tanto para o fluxo portal como hepático, nos diferentes vasos de ámbolos dous sistemas, dun xeito non invasivo e consistente, no que puidemos caracterizar e xustificar a turbulencia normal do fluxo portal, sen pulsatilidade asociada á actividade cardíaca.
2. No caso dos riles, co protocolo Doppler aplicado a exploración do ril dereito foi consistente e repetible, podendo medir o fluxo na arteria renal e nas segmentarias primarias e valorar as súas características. Con este protocolo o ril esquerdo só puido ser avaliado nun número reducido de animais, obtendo nestes casos valores semellantes ós do ril dereito.
3. As glándulas adrenais, especialmente a glándula dereita, poden ser avaliadas de xeito non invasivo co protocolo ecográfico proposto, amosando un parénquima hipoecoxénico respecto do fígado e do ril dereito, e distinguindo nalgún caso a súa arquitectura interna. Seguindo este protocolo foi posible establecer as dimensións das glándulas, sendo o valor do espesor menos variable que a lonxitude, polo que o espesor debe ser considerado o valor de referencia para futuros estudos.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Yousef, M.M., 1992. Normal and respiratory variations of the hepatic and portal venous duplex Doppler waveforms with simultaneous electrocardiographic correlation. *J. Ultrasound Med.* 11, 263–268. <https://doi.org/10.7863/jum.1992.11.6.263>
- Agut, A., Martinez, M., Anson, A., Soler, M., 2019. Ultrasonographic measurement of adrenal gland-to-aorta ratio as a method of estimating adrenal size in dogs. *Vet. Rec.* 186, e27-e27. <https://doi.org/10.1136/vr.105188>
- Agut, A., Soler, M., Fernández-Del Palacio, M.J., 2020. Changes in Renal Resistive Index Values in Healthy Puppies during the First Months of Life. *Animals* 10, 1338. <https://doi.org/10.3390/ani10081338>
- Ansarin, K., Babil, A.S., Ghabili, K., Shoja, M.M., Khosroshahi, H.T., Hajipour, B., Tubbs, R.S., Parvizi, M., 2011. Are Doppler ultrasonography parameters symmetric between the right and left kidney? *Am. J. Clin. Hypn.* 53, 371–373. <https://doi.org/10.2147/IJGM.S14119>
- Babkine, M., Blond, L., 2009. Ultrasonography of the Bovine Respiratory System and Its Practical Application. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 25, 633–649. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.07.001>
- Barone, R., 2001. Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 4, Splanchnologie II. Ed. Vigot.
- Bento, P.L., Center, S.A., Randolph, J.F., Yeager, A.E., Bicalho, R.C., 2016. Associations between sex, body weight, age, and ultrasonographically determined adrenal gland thickness in dogs with non-adrenal gland illness. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 248, 652–660. <https://doi.org/10.2460/javma.248.6.652>
- Biasibetti, E., Giorcelli, J., Deideri, F., Bianco, P., Capucchio, M.T., Volante, M., 2017. Adrenal gland tumors in dairy cattle from Northern Italy: morphological and phenotypical characterization in comparison with human pathology. *Pol. J. Vet. Sci.* 20, 779–788. <https://doi.org/10.1515/pjvs-2017-0098>
- Blond, L., Buczinski, S., 2009. Basis of Ultrasound Imaging and the Main Artifacts in Bovine Medicine. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 25, 553–565. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.07.002>
- Blutke, A., Börjes, P., Herbach, N., Pfister, K., Hamel, D., Rehbein, S., Wanke, R., 2015. Acaricide treatment prevents adrenocortical hyperplasia as a long-term stress reaction to psoroptic mange in cattle. *Vet. Parasitol.* 207, 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.10.013>
- Bollwein, H., Heppelmann, M., Lüttgenau, J., 2016. Ultrasonographic Doppler Use for Female Reproduction Management. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 32, 149–164. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.005>

- Bragato, N., Borges, N.C., Fioravanti, M.C.S., 2017. B-mode and Doppler ultrasound of chronic kidney disease in dogs and cats. *Vet. Res. Commun.* 41, 307–315. <https://doi.org/10.1007/s11259-017-9694-9>
- Braun, U., 1991. Ultrasonographic examination of the right kidney in cows. *Am. J. Vet. Res.* 52, 1933–1939.
- Braun, U., 1993. Ultrasonographic Examination of the Left Kidney, the Urinary Bladder, and the Urethra in Cows. *J. Vet. Med. Ser. A* 40, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.1993.tb00594.x>
- Braun, U., 2009a. Ultrasonography of the Gastrointestinal Tract in Cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 25, 567–590. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.07.004>
- Braun, U., 2009b. Ultrasonography of the Liver in Cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 25, 591–609. <https://doi.org/10.1016/J.CVFA.2009.07.003>
- Braun, U., 2016. Ultrasonographic Examination of the Reticulum, Rumen, Omasum, Abomasum, and Liver in Calves. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 32, 85–107. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.011>
- Braun, U., Clavadetscher, G., Baumgartner, M.R., Riond, B., Binz, T.M., 2017. Hair cortisol concentration and adrenal gland weight in healthy and ill cows. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* <https://doi.org/10.17236/sat00128>
- Braun, U., Föhn, J., 2005. Duplex ultrasonography of the common carotid artery and external jugular vein of cows. *Am. J. Vet. Res.* 66, 962–965. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2005.66.962>
- Braun, U., Forster, E., 2012. B-mode and colour Doppler sonographic examination of the milk vein and musculophrenic vein in dry cows and cows with a milk yield of 10 and 20 kg. *Acta Vet. Scand.* 54, 15. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-54-15>
- Braun, U., Forster, E., Bleul, U., Hässig, M., Schwarzwald, C., 2013. B-mode and colour Doppler ultrasonography of the milk vein and musculophrenic vein in eight cows during lactation. *Res. Vet. Sci.* 94, 138–143. <https://doi.org/10.1016/J.RVSC.2012.07.034>
- Braun, U., Gerber, D., 1994. Influence of age, breed, and stage of pregnancy on hepatic ultrasonographic findings in cows. *Am. J. Vet. Res.* 55, 1201–1205.
- Braun, U., Hoegger, R., 2008. B-mode and colour Doppler ultrasonography of the milk vein in 29 healthy Swiss braunvieh cows. *Vet. Rec.* 163, 47–49. <https://doi.org/10.1136/vr.163.2.47>
- Braun, U., Nuss, K., Wehbrink, D., Rauch, S., Pospischil, A., 2008. Clinical and ultrasonographic findings, diagnosis and treatment of pyelonephritis in 17 cows. *Vet. J.* 175, 240–248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.12.018>
- Braun, U., Hoegger, R., Haessig, M., 2009. Colour-Doppler sonography of the musculophrenic vein in cows. *Vet. J.* 179, 451–454. <https://doi.org/10.1016/J.TVJL.2007.10.027>
- Braun, U., Schnetzler, C., Augsburg, H., Bettschart, R., Ohlerth, S., 2014. Computed tomography of the abdomen of calves during the first 105 days of life: III. Urinary tract and adrenal glands. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* <https://doi.org/10.1024/0036-7281/a000583>
- Braun, U., Wiest, A., Lutz, T., Riond, B., Hilbe, M., Baumgartner, M.R., Binz, T.M., 2019. Hair cortisol concentration in clinically healthy slaughter calves with and without chronic bronchopneumonic lesions. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* 161, 639–647. <https://doi.org/10.17236/sat00226>

- Buczinski, S., 2009a. Bovine ultrasound, in: Buczinski, Sébastien (Ed.), *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. Elsevier Inc, pp. 553–794. <https://doi.org/10.1016/J.CVFA.2009.07.003>.
- Buczinski, S., 2009b. Preface. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 25, xi–xii. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.08.001>
- Buczinski, S., 2016. We Need More Studies on the Diagnostic and Prognostic Use of Ultrasound in Ruminants! *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 32, xi–xii. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2016.01.017>
- Budras, K.D., Habel, R.E, Mülling, K.W., Greenough, P.R., Wünsche, A., Buda, S., 2011. *Bovine Anatomy. An Illustrated Text, Second Edition*. Schlütersche, Hannover, Germany.
- Budras, K.D., Wünsche, A., 2011. Lymphatic system, adrenal glands, and urinary organs, in: Budras, K.D., Habel, R.E., Mülling, K.W., Greenough, P.R., Wünsche, A., Buda, S. (Ed.), *Bovine Anatomy. An Illustrated Text*. pp. 82–83.
- Bushberg, J.T., Seibert, J.A., Leidholdt Jr. E.M., Boone J.M, 2012. *The essential physics of medical imaging*. Chapter 14: Ultrasound. 3rd Ed. Wolters Kluwer- Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia (USA). pp 500-576.
- Capra, P., Leporati, M., Nebbia, C., Gatto, S., Attucci, A., Barbarino, G., Vincenti, M., 2019. Effects of truck transportation and slaughtering on the occurrence of prednisolone and its metabolites in cow urine, liver, and adrenal glands. *BMC Vet. Res.* 15. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-2069-4>
- Carr, S.B., Jacobson, D.R., 1968. Method for Measurement of Gastrointestinal Absorption in Normal Animals, Combining Portal-Carotid Differences and Telemetered Portal Flow by Doppler Shift,. *J. Dairy Sci.* 51, 721–729. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(68\)87062-6](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(68)87062-6)
- Carvalho, C.F., Chammas, M.C., 2011. Normal Doppler velocimetry of renal vasculature in Persian cats. *J. Feline Med. Surg.* 13, 399–404. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2010.12.008>
- Chen, H.Y., Lien, Y.H., Huang, H.P., 2016. Association of Renal Resistive Index, Renal Pulsatility Index, Systemic Hypertension, and Albuminuria with Survival in Dogs with Pituitary-Dependent Hyperadrenocorticism. *Int. J. Endocrinol.* 2016, 3814034. <https://doi.org/10.1155/2016/3814034>
- d’Anjou, MA; Penninck, D, 2015b. Liver, in: Penninck, D; d’Anjou, M. (Ed.), *Atlas of Small Animal Ultrasonography*. Wiley-Blackwell, pp. 187–192.
- d’Anjou, MA; Penninck, D., 2015a. Adrenal glands, in: Penninck, D; d’Anjou, M. (Ed.), *Atlas of Small Animal Ultrasonography*. Wiley-Blackwell, pp. 387–401.
- da Rosa, G.O., Wagner, W.C., 1981. Adrenal-Gonad Interactions in Cattle. Corpus Luteum Function in Intact and Adrenalectomized Heifers2. *J. Anim. Sci.* 52, 1098–1105. <https://doi.org/10.2527/jas1981.5251098x>
- DesCôteaux, L., Gnemmi, G., Colloton, J., 2009. Ultrasonography of the Bovine Female Genital Tract. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 25, 733–752. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.07.009>
- Di Nicolò, P., Granata, A., 2017. Renal Resistive Index: not only kidney. *Clin. Exp. Nephrol.* 21, 359–366. <https://doi.org/10.1007/s10157-016-1323-3>

- Edmonson, A.J., Lean, I.J., Weaver, L.D., Farver, T., Webster, G., 1989. A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 72, 68–78. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79081-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0)
- Erdogmus, B., Tamer, A., Buyukkaya, R., Yazici, B., Buyukkaya, A., Korkut, E., Alcelik, A., Korkmaz, U., 2008. Portal Vein Hemodynamics in Patients with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease. *Tohoku J. Exp. Med.* 215, 89–93. <https://doi.org/10.1620/tjem.215.89>
- Floeck, M., 2007. Sonographic application in the diagnosis of pyelonephritis in cattle. *Vet. Radiol. Ultrasound* 48, 74–77. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2007.00207.x>
- Floeck, M., 2009. Ultrasonography of Bovine Urinary Tract Disorders. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 25, 651–667. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2009.07.008>
- Freccero, F., Petrucelli, M., Cipone, M., Nocera, I., Sgorbini, M., 2020. Doppler evaluation of renal resistivity index in healthy conscious horses and donkeys. *PLoS One* 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228741>
- Fricke, P.M., Ricci, A., Giordano, J.O., Carvalho, P.D., 2016. Methods for and Implementation of Pregnancy Diagnosis in Dairy Cows. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 32, 165–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.006>
- Ghavidel, M., Mirshahi, A., Azizzadeh, M., Khoshnegah, J., 2019. Evaluating the correlation between adrenal gland dimensions and aortic diameter in healthy dogs. *J. Vet. Med. Ser. C Anat. Histol. Embryol.* 48, 325–333. <https://doi.org/10.1111/ahe.12443>
- Gosselin, V.B., Babkine, M., Francoz, D., 2016. Ultrasonography of the Tympanic Bullae and Larynx in Cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 32, 119–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.010>
- Hart, C.G., Voelz, B.E., Brockus, K.E., Lemley, C.O., 2018. Hepatic steroid inactivating enzymes, hepatic portal blood flow and corpus luteum blood perfusion in cattle. *Reprod. Domest. Anim.* 53, 751–758. <https://doi.org/10.1111/rda.13166>
- Hayashi, H., Biller, D.S., Rings, D.M., Miyabayashi, T., 1994. Ultrasonographic diagnosis of pyelonephritis in a cow. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 205, 736–738.
- Imran, S., Sharma, S., 2014. Transcutaneous ultrasonographic examination of the left kidney in healthy cows. *Vet. Med. (Praha).* 59, 29–32.
- Keogan, M.T., Kliwer, M.A., Hertzberg, B.S., DeLong, D.M., Tupler, R.H., Carroll, B.A., 1996. Renal resistive indexes: Variability in Doppler US measurement in a healthy population. *Radiology* 199, 165–169. <https://doi.org/10.1148/radiology.199.1.8633141>
- Klotz, J.L., Heitmann, R.N., 2007. Changes in Net Portal Nutrient Flux in Response to Weaning Transition and Ionophore Supplementation in Dairy Calves. *J. Dairy Sci.* 90, 1326–1339. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(07\)71620-X](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(07)71620-X)
- König, HE; Liebich, H., 2005. Anatomía de los animales domésticos. Vol 2: Órganos, sistema circulatorio y sistema nervioso. Editorial Médica Panamericana.
- Labelle, P., De Cock, H.E. V., 2005. Metastatic Tumors to the Adrenal Glands in Domestic Animals. *Vet. Pathol.* 42, 52–58. <https://doi.org/10.1354/vp.42-1-52>
- Lamb, C.R., Mahoney, P.N., 1994. Comparison of three methods for calculating portal blood flow velocity in dogs using duplex-Doppler ultrasonography. *Vet. Radiol. Ultrasound* 35, 190–194. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1994.tb01591.x>

- Lambacher, B., Wittek, T., 2015. A suspected case of Addison's disease in cattle. *Can. Vet. J.* 56, 928.
- Larson, M.M., Mattoon, J.S., Lawrence, Y., Sellon, R.K., 2021. 9 - Liver, in: Mattoon, J.S., Sellon, R.K., Berry, C.R. (Eds.), *Small Animal Diagnostic Ultrasound (Fourth Edition)*. W.B. Saunders, St. Louis (MO), pp. 355–421. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-53337-9.00018-6>
- Li, P.S., Wagner, W.C., 1983. Effects of Hyperadrenal States on Luteinizing Hormone in Cattle. *Biol. Reprod.* 29, 11–24. <https://doi.org/10.1095/biolreprod29.1.11>
- Lomax, M.A., Baird, G.D., 1983. Blood flow and nutrient exchange across the liver and gut of the
- Maksoud, A.A.A., Sharara, S.M., Nanda, A., Khouzam, R.N., 2019. The renal resistive index as a new complementary tool to predict microvascular diabetic complications in children and adolescents: a groundbreaking finding. *Ann. Transl. Med.* 7, 422–422. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.08.65>
- Matos, I., Azevedo, P., Carreira, L.M., 2018. Pilot study to evaluate the potential use of the renal resistive index as a preliminary diagnostic tool for chronic kidney disease in cats. *J. Feline Med. Surg.* 20, 940–947. <https://doi.org/10.1177/1098612X17736656>
- Mattoon, J.S., Berry, C.R., 2021. 1 - Fundamentals of diagnostic ultrasound, in: Mattoon, J.S., Sellon, R.K., Berry, C.R. (Eds.), *Small Animal Diagnostic Ultrasound (Fourth Edition)*. W.B. Saunders, St. Louis (MO), pp. 1–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-53337-9.00010-1>
- McNaughton, D.A., Abu-Yousef, M.M., 2011. Doppler US of the Liver Made Simple. *RadioGraphics* 31, 161–188. <https://doi.org/10.1148/rg.311105093>
- Mitchell, K.J., Schwarzwald, C.C., 2016. Echocardiography for the Assessment of Congenital Heart Defects in Calves. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 32, 37–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.002>
- Mohamed, T., Oikawa, S., 2008. Efficacy and safety of ultrasound-guided percutaneous biopsy of the right kidney in cattle. *J. Vet. Med. Sci.* 70, 175–179. <https://doi.org/10.1292/jvms.70.175>
- Neelis, D.A., Mattoon, J.S., Sellon, R.K., 2021. 15 - Adrenal glands, in: Mattoon, J.S., Sellon, R.K., Berry, C.R. (Eds.), *Small Animal Diagnostic Ultrasound (Fourth Edition)*. W.B. Saunders, St. Louis (MO), pp. 566–582. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-53337-9.00024-1>
- Novellas, R., Espada, Y., De Gopegui, R.R., 2007. Doppler ultrasonographic estimation of renal and ocular resistive and pulsatility indices in normal dogs and cats. *Vet. Radiol. Ultrasound* 48, 69–73. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2007.00206.x>
- Novellas, R., de Gopegui, R.R., Espada, Y., 2008a. Increased renal vascular resistance in dogs with hepatic disease. *Vet. J.* 178, 257–262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.07.026>
- Novellas, R., Ruiz De Gopegui, R., Espada, Y., 2008b. Determination of renal vascular resistance in dogs with diabetes mellitus and hyperadrenocorticism. *Vet. Rec.* 163, 592–596. <https://doi.org/10.1136/vr.163.20.592>
- Novellas, R., Ruiz De Gopegui, R., Espada, Y., 2010. Assessment of renal vascular resistance and blood pressure in dogs and cats with renal disease. *Vet. Rec.* 166, 618–625. <https://doi.org/10.1136/vr.b4820>

- Nyland, TG; Larson, MM; Mattoon, J., 2015. Liver, in: Mattoon, JS; Nyland, T. (Ed.), Small Animal Diagnostic Ultrasound. Elsevier Ltd, pp. 332–340.
- Ollivett, T.L., Buczinski, S., 2016. On-Farm Use of Ultrasonography for Bovine Respiratory Disease. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 32, 19–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.001>
- Ostrowska, J., Kielbowicz, Z., Zaleska-Dorobisz, U., Atamaniuk, W., Pietsch-Fulbiszewska, A., Kinda, W., 2016. Resistive index (RI) obtained in renal interlobar arteries of normal dogs and cats by means of Doppler ultrasonography. *Pak. Vet. J.* 36, 45–48.
- Ozturk S., Demirkan I., Kibar M., Bumin A., Pekkaya, S., 2005. Transrectal ultrasonographic examination of the urinary system in Holstein cows. *Turkish J. Vet. An. Sci.* 2005;29(2):263–7.
- Pusterla, N., Braun, U., 1997. Ultrasonic examination of the pancreas in healthy cows. *Vet. Radiol. Ultrasound* 38, 63–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1997.tb01605.x>
- Scoutt, L.M.; Taylor, K.J.W., 1999. El riñón, in: Taylor, KJW.; Burs, PN; Wells, P. (Ed.), Aplicaciones Clínicas de La Ecografía Doppler. Marban Libros, Madrid, pp. 155–178.
- Seif, M.M., Bakr, H.A., 2007. Ultrasonography of normal , cystic and dysplastic kidney in cattle. *J. Vet. Med. Res.* 17, 42–49. <https://doi.org/10.21608/jvmr.2007.77911>
- Shirai, W., Sato, T., Shibuya, H., Naito, K., Tsukise, A., 2005. Three-Dimensional Vasculature of the Bovine Liver. *Anat. Histol. Embryol.* 34, 354–363. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0264.2005.00623.x>
- Singh, B., 2018. Dyce, Sack, and Wensing's Textbook of Veterinary Anatomy, 5th Edition. ed. Saunders. Elsevier.
- Sisson, S., 1982. Sistema urogenital de los rumiantes, in: Sisson, S; Grossman, JD; Getty, R. (Ed.), Anatomía de Los Animales Domésticos. Salvat editores, Barcelona, pp. 1041–1042.
- Starke, A., Schmidt, S., Haudum, A., Scholbach, T., Wohlsein, P., Beyerbach, M., Rehage, J., 2011. Evaluation of portal blood flow using transcutaneous and intraoperative Doppler ultrasonography in dairy cows with fatty liver. *J. Dairy Sci.* 94, 2964–2971. <https://doi.org/10.3168/JDS.2011-4156>
- Starke, A., Wussow, K., Matthies, L., Kusenda, M., Busche, R., Haudum, A., Beineke, A., Pfarrer, C., Rehage, J., 2012. Minimally-invasive catheterization of the portal, hepatic and cranial mesenteric veins and the abdominal aorta for quantitative determination of hepatic metabolism in dairy cows. *Vet. J.* 192, 403–411. <https://doi.org/10.1016/J.TVJL.2011.07.002>
- Streeter, R.N., Step, D.L., 2007. Diagnostic Ultrasonography in Ruminants. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 23, 541–574. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.07.008>
- Szymanski, J., Olewnik, L., Wyśiadecki, G., Przygócka, A., Polgaj, M., Topol, M., 2018. Proposal for a new classification of the renal artery in the bovine kidney. *Vet. Med. (Praha)*. 63, 63–72. <https://doi.org/10.17221/130/2017-VETMED>
- Taylor, K.J.W.; Burns, P.N.; Wells, P., 1995. Clinical applications of Doppler ultrasound, 2nd ed. Lippincott-Raven Publishers, Inc. Philadelphia PA, USA.
- Tipisca, V., Murino, C., Cortese, L., Mennonna, G., Auletta, L., Vulpe, V., Meomartino, L., 2016. Resistive index for kidney evaluation in normal and diseased cats. *J. Feline Med. Surg.* 18, 471–475. <https://doi.org/10.1177/1098612X15587573>

- Wangsness, P.J., McGilliard, A.D., 1972. Measurement of portal blood flow in calves by dye-dilution. *J. Dairy Sci.* 55, 1439–46. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85691-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85691-1)
- Widmer, W.R., Mattoon, J.S., Vaden, S.L., 2021. 16 - Urinary tract, in: Mattoon, J.S., Sellon, R.K., Berry, C.R. (Eds.), *Small Animal Diagnostic Ultrasound (Fourth Edition)*. W.B. Saunders, St. Louis (MO), pp. 583–634. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-53337-9.00025-3>
- Wright, B.J., Conner, G.H., 1968. Adrenal Neoplasms in Slaughtered Cattle. *Cancer Res.* 28, 251 LP – 263.





Con este traballo de investigación afondamos no coñecemento da ecografía abdominal no gando vacún leitero. Realizamos a avaliación funcional do fluxo sanguíneo do figado e dos riles mediante ecografía Doppler e a exploración ecográfica transabdominal en modo B das glándulas adrenais. O fluxo da vea porta é turbulento de alta velocidade, mentres que a vea cava caudal e as veas hepáticas presentan un fluxo laminar. No tocante ó ril, o estudo do fluxo permite chegar uns valores de corte para os índices de resistencia, que permitirán ó veterinario clínico e/ou investigador diferenciar un ril san dun enfermo. O protocolo utilizado permite valorar o aspecto ecográfico e o tamaño das glándulas adrenais en vacas adultas.